



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 197 49 357 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 16 F 15/32**  
B 04 B 9/14

(21) Aktenzeichen: 197 49 357.2  
(22) Anmeldetag: 7. 11. 97  
(43) Offenlegungstag: 25. 6. 98

DE 197 49 357 A 1

(30) Unionspriorität:  
8-296294 08. 11. 96 JP  
(71) Anmelder:  
Hitachi Koki Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP  
(74) Vertreter:  
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

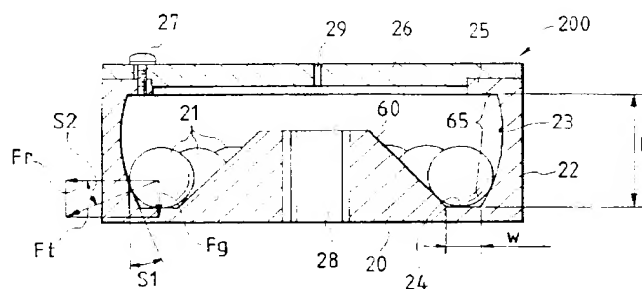
(72) Erfinder:  
Ohtsu, Shinki, Naka, Ibaraki, JP; Ishikawa,  
Mitsuyuki, Hitachinaka, Ibaraki, JP; Yoshioka,  
Masanori, Hitachinaka, Ibaraki, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verbesserte Konstruktion einer automatischen Ausgleichsvorrichtung für eine rotierende Maschine

(57) Eine Kugelausgleichsvorrichtung (200) zur Minimierung eines dynamischen Ungleichgewichts eines sich bewegenden Teils einer rotierenden Maschine wie einer Zentrifuge (100) ist vorgesehen. Die Kugelausgleichsvorrichtung (200) umfaßt ein Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (20), in dem Kugeln (21) angeordnet sind. Das Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (20) ist auf dem sich bewegenden Teil koaxial zu einer Drehachse davon montiert und hat darin eine innere Seitenwand (65) ausgebildet, die so gekrümmt ist, daß die Kugeln (21) durch die Zentrifugalkraft weg von dem Boden des Ausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) entlang der inneren Seitenwand (65) angehoben werden und zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse (15) des sich bewegenden Teils hin gedrängt werden, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils eine Resonanzdrehzahl übersteigt, das heißt eine Drehzahl des sich bewegenden Teils, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz des sich bewegenden Teils übereinstimmt, wodurch die unausgeglichene Masse (15) des sich bewegenden Teils ausgeglichen wird. In einer alternativen Form umfassen die Kugeln (21) eine erste Gruppe mit großem Durchmesser (21a) und eine zweite Gruppe mit einem kleinen Durchmesser (21b). Die Kugeln mit dem Durchmesser (21a) und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser (21b) sind abwechselnd angeordnet. Jede der Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) wird durch die Reaktionskraft, die durch ein Verschieben der Mitte zwischen einer der Kugeln mit dem ...



DE 197 49 357 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich im allgemeinen auf eine automatische Ausgleichsvorrichtung für eine rotierende Maschine und insbesondere auf eine verbesserte Konstruktion einer Kugelausgleichsvorrichtung, die zum automatischen Ausgleichen von Belastungen konstruiert ist, die auf einen sich bewegenden Teil einer rotierenden Maschine in einer Radialrichtung während der Drehung wirken.

Herkömmliche automatische Ausgleichsvorrichtungen, die in einer rotierenden Maschine verwendet werden, sind von zwei unterschiedlichen Typen: eine Flüssigkeitsausgleichsvorrichtung, die ein ringförmiges Gehäuse hat, das mit der Flüssigkeit gefüllt ist, und eine Kugelausgleichsvorrichtung, die Kugeln hat, die im Inneren eines ringförmigen Gehäuses angeordnet sind.

Die Fig. 21 und 22 zeigen eine herkömmliche Kugelausgleichsvorrichtung, wie aus der zweiten japanischen Patentveröffentlichung Nr. 56-130249 hervorgeht, die eine große Anzahl an Kugeln 21 umfaßt, die im Inneren eines ringförmigen Gehäuses 40 über 30% bis 60% des Umfangs des ringförmigen Gehäuses 40 angeordnet sind. Wenn das ringförmige Gehäuse 40 mit einer hohen Drehzahl schleudert, wird es die Kugeln 21 dazu bringen, zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse 15 zu drängen, um ein Gegengewicht zu der unausgeglichene Masse 15 zu schaffen, wodurch eine Schwingung des Gehäuses 40 während der Drehung minimiert wird.

Als Beispiel rotierender Maschinen ist eine Zentrifuge konstruiert, um einen Rotor mit einer hohen Drehzahl zu drehen, um eine Mischung, wie eine flüssige Lösung, die in den Rotor eingesetzt wurde, in eine Komponente mit höherer Dichte und eine Komponente mit niedrigerer Dichte zu trennen, so daß sich die Komponente mit der höheren Dichte von der Mitte des Rotors entfernt absetzt, während sich die Komponente mit der niedrigeren Dichte um die Mitte des Rotors herum absetzt. Eine plötzliche Veränderung der Drehzahl des Rotors während der Beschleunigung oder der Verlangsamung wird bewirken, daß die getrennten Komponenten im Inneren des Rotors verrührt werden, so daß diese gemischt werden. Um dieses Problem zu vermeiden, wird die Beschleunigung oder die Verlangsamung so gesteuert, daß sie sich während der Drehung des Rotors langsam verändert. Im allgemeinen rotiert die Zentrifuge mit einer Drehzahl, die größer als eine Resonanzdrehzahl ist, die eine Schwingung des Rotors veranlaßt. Wenn die Resonanzdrehzahl während einer langsamen Veränderung bei der Beschleunigung oder der Verlangsamung des Rotors erreicht wird, wird eine große Vibration in der Resonanzfrequenz produziert. Um diese Vibration zu unterdrücken, wird im allgemeinen ein Dämpfer zwischen einem Antriebsmechanismus für den Rotor und dem Gehäuse eingebaut. Wenn die Zentrifuge jedoch betätigt wird, um den Rotor zu drehen, der nicht im Gleichgewicht ist, ist es schwierig, die Vibration nur unter Verwendung des Dämpfers zu absorbieren, womit eine Vibration oder ein Geräusch durch die Resonanz des Rotors in einem großen Maßstab resultiert. Wenn deswegen ein dynamisches Ungleichgewicht des Rotors während einer Rotation mit hoher Drehzahl beibehalten wird, wird dies zu einer exzentrischen Rotation des Rotors führen, wodurch die Belastungen ansteigen, die eine Rotorwelle biegen und wodurch ein Lager der Rotorwelle beschädigt wird. Um dieses Problem zu vermeiden, wird eine Gewichtsdifferenz zwischen Mischungen, die an entgegengesetzten Seiten eines Rotors angeordnet sind, minimiert, um den Rotor während der Rotation auszugleichen. Diese Ausgleichseinstellung erfolgt üblicherweise durch Einstellen der Mengen der Mischungen oder durch Zufügen eines Aus-

gleichsgewichts an den Rotor und verschwendet die Zeit eines Bedienungspersonals unerwünscht.

Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, daß ein Rotationssystem, das einen Rotor umfaßt, große Vibrationen erzeugt, wenn die Drehzahl des Rotors eine Resonanzdrehzahl erreicht (das heißt, wenn die Rotordrehzahl mit einer natürlichen Frequenz des Rotationssystems übereinstimmt). Wenn die Rotordrehzahl niedriger als die Resonanzdrehzahl ist, wird der Schwerpunkt des Rotationssystems aus der Mitte des Rotors versetzt. Wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl übersteigt, wird die Phase einer Schwingung des Rotationssystems um 180° verschoben, so daß der Schwerpunkt des Rotationssystems von der Mitte des Rotors zur Mitte der Rotation verschoben wird.

Wenn eine Zentrifuge, die mit einer Kugelausgleichsvorrichtung ausgestattet ist, wie in den Fig. 21 und 22 gezeigt ist, betrieben wird, um einen Rotor zu beschleunigen, schleudert der Rotor deshalb langsam, während er zu einer unausgeglichene Masse hin schwingt, bis die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl erreicht, so daß die Kugeln zu der unausgeglichene Masse bewegt werden, woraus ein Anstieg des dynamischen Ungleichgewichts des Rotors resultiert. Im speziellen wird die Resonanzvibration größer als es der Fall ohne der Kugelausgleichsvorrichtung wäre, was den Rotor dazu bringen könnte, mit einem Außengehäuse in Kontakt gebracht zu werden, woraus ein unerwünschtes mechanisches Geräusch resultiert.

Wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl übersteigt, schwingt der Rotor in einer Richtung entgegengesetzt zu der unausgeglichene Masse, wodurch die Kugeln dazu gebracht werden, auf der gegenüberliegenden Seite der unausgeglichene Masse gesammelt zu werden, um die unausgeglichene Masse zu verringern. Dies resultiert in einer schnellen Reduzierung der Vibration des Rotors, um ein dynamisches Gleichgewicht des Rotors zu erhalten.

Eine Zunahme des Gesamtgewichts der Kugeln oder des Durchmessers des ringförmigen Gehäuses, um eine erlaubte unausgeglichene Masse zu erhöhen, bewirkt, daß die Resonanzvibration des Rotors durch die Kugelausgleichsvorrichtung erhöht wird, sogar wenn eine unausgeglichene Masse gering ist. Im speziellen ist es schwierig, die Vibration des Rotors durch Erhöhen des Gesamtgewichts der Kugeln oder des Durchmessers des ringförmigen Gehäuses zu reduzieren.

Dementsprechend ist die herkömmliche Kugelausgleichsvorrichtung, wie sie in den Fig. 21 und 22 gezeigt ist, wirksam, um ein dynamisches Gleichgewicht des Rotors zu erreichen, wenn die Rotordrehzahl über der Resonanzdrehzahl liegt, aber sie hat den Nachteil, daß die Kugelausgleichsvorrichtung arbeitet, um die Vibration des Rotors zu erhöhen, wenn die Rotordrehzahl niedriger als die Resonanzdrehzahl ist.

Es ist deshalb eine grundlegende Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden.

Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine automatische Ausgleichsvorrichtung zu schaffen, die konstruiert ist, um ein dynamisches Gleichgewicht eines sich bewegenden Teils eines Rotationsmechanismus über einen weiten Bereich an Drehzahlen des sich bewegenden Teils zu erreichen.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Kugelausgleichsvorrichtung zur Steuerung eines dynamischen Gleichgewichts eines sich bewegenden Teils einer rotierenden Maschine vorgesehen, die folgende Bauteile aufweist: (a) ein Drenausgleichsvorrichtungsgehäuse, das auf einer Rotationsachse koaxial zur Achse der Rotation des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine montiert

ist, wobei das Rotationsausgleichsvorrichtungsgehäuse eine zylindrische innere Seitenwand und einen Boden umfaßt, und eine ringförmige Laufbahn auf dem Boden entlang eines Umfangs der zylindrischen inneren Seitenwand hat; (b) Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn des Rotationsausgleichsvorrichtungsgehäuses über einen ersten Winkelbereich angeordnet sind; und (c) eine Vorrichtung zum Halten der Kugeln, die über den ersten Winkelbereich auf der ringförmigen Laufbahn angeordnet sind, innerhalb einer Rotation des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine in einem niedrigeren Drehzahlbereich, niedriger als oder gleich einer Resonanzdrehzahl, das heißt einer Rotationsdrehzahl des sich bewegenden Teils) wenn sie mit einer natürlichen Frequenz eines Rotationssystems übereinstimmt, das die Kugelausgleichsvorrichtung und den sich bewegenden Teil umfaßt, und die eine Schwingung des Rotationssystems dazu bringt, zuzunehmen, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils aus dem unteren Drehzahlbereich heraus ansteigt, wobei die Vorrichtung die Kugeln zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse des sich bewegenden Teils drängt, die eine Schwingung des sich bewegenden Teils initiiert, innerhalb eines zweiten Winkelbereichs, der kleiner als der erste Winkelbereich ist, um ein dynamisches Ungleichgewicht des sich bewegenden Teils, das durch die unausgeglichene Masse hervorgerufen wurde, zu minimieren.

In dem bevorzugten Modus der Erfindung belegt der erste Winkelbereich im wesentlichen die gesamte Länge der ringförmigen Laufbahn.

Die zylindrische innere Seitenwand umfaßt einen oberen Abschnitt und einen unteren Abschnitt, der die Vorrichtung bildet. Der untere Abschnitt ist so von dem Rotationsausgleichsvorrichtungsgehäuse mit einem gegebenen Krümmungsradius nach außen gekrümmt, daß ein Intervall zwischen der Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses und einer inneren Oberfläche des unteren Abschnitts in einer Richtung senkrecht zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses zu dem oberen Abschnitt hin zunimmt, und daß ein Winkel zwischen einer Tangente, die durch einen Punkt auf der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts geht, mit dem jede der Kugeln in Kontakt ist, und einer vertikalen Linie, es den Kugeln erlaubt, von der ringförmigen Laufbahn entlang der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts durch eine Zentrifugalkraft angehoben zu werden, die erzeugt wird, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine über die Resonanzdrehzahl hinausgeht.

Der obere Abschnitt der zylindrischen inneren Seitenwand ist mit demselben Krümmungsradius gekrümmt, wie jener des unteren Abschnitts, und ein Intervall zwischen der Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses und einer inneren Oberfläche des oberen Abschnitts in einer Richtung senkrecht zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses nimmt mit dem Verlassen des unteren Abschnitts ab.

Der obere Abschnitt der zylindrischen inneren Seitenwand kann alternativ mit einer Krümmungsradius gekrümmt sein, der größer als derjenige des unteren Abschnitts ist.

Der obere Abschnitt der zylindrischen inneren Seitenwand kann alternativ eine flache innere Oberfläche haben, die sich parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses erstreckt.

In einer abgewandelten Form der Erfindung hat die zylindrische innere Seitenwand auch einen gestuften Abschnitt. Beim oberen Abschnitt erstreckt sich die innere Oberfläche parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses. Der untere Abschnitt hat die innere Oberfläche in ei-

nem gegebenen Winkel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses geneigt, um es den Kugeln zu gestatten, weg von der ringförmigen Laufbahn entlang der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts durch die Zentrifugalkraft angehoben zu werden, die erzeugt wird, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine die Resonanzdrehzahl übersteigt. Der gestufte Abschnitt erstreckt sich zwischen einem unteren Umfang des oberen Abschnitts und einem oberen Umfang des unteren Abschnitts und steht in einer Breitenrichtung davon von einem unteren Ende des oberen Abschnitts zu einem unteren Ende des oberen Abschnitts nach innen hervor.

Der gestufte Abschnitt kann Vorsprünge und Ausnehmungen ausgebildet haben, die abwechselnd in seiner Längsrichtung angeordnet sind.

In einer abgewandelten Form der Erfindung umfassen die Kugeln eine erste Gruppe, die einen großen Durchmesser hat, und eine zweite Gruppe, die einen kleinen Durchmesser hat. Die Kugeln mit dem großen Durchmesser und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser sind abwechselnd angeordnet. Die zylindrische innere Seitenwand des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses erstreckt sich vertikal parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses. Der innere Durchmesser der zylindrischen inneren Seitenwand und der Unterschied im Durchmesser zwischen den Kugeln mit dem großen Durchmesser und den Kugeln mit dem kleinen Durchmesser sind so bestimmt, daß die Kugeln mit dem großen Durchmesser durch eine Zentrifugalkraft weg von der ringförmigen Laufbahn angehoben werden, die auf die Kugeln mit dem großen Durchmesser und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser wirkt, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils über den unteren Drehzahlbereich hinaus ansteigt.

Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist eine Zentrifuge vorgesehen, die die folgenden Bauteile aufweist:

(a) ein Rotor, der auf einer Welle drehbar gelagert ist; (b) ein Motor, der den Rotor durch die Welle dreht; und (c) eine Kugelausgleichsvorrichtung, die auf der Welle zwischen dem Rotor und dem Motor montiert ist. Die Kugelausgleichsvorrichtung umfaßt (1) ein Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse, das eine zylindrische innere Seitenwand und einen Boden umfaßt, der eine ringförmige Laufbahn hat, die auf dem Boden entlang eines Umfangs der zylindrischen inneren Seitenwand ausgebildet ist, (2) Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses über einen ersten Winkelbereich angeordnet sind, und (3) eine Vorrichtung zum Halten der Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn über dem ersten Winkelbereich angeordnet sind, innerhalb eines niedrigeren Drehzahlbereichs des Rotors, der niedriger als oder gleich einer Resonanzdrehzahl ist, das heißt einer Drehzahl des Rotors, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz eines Rotationssystems, das den Rotor und die Kugelausgleichsvorrichtung umfaßt, übereinstimmt, was eine Schwingung des Rotationssystems dazu bringt, zuzunehmen, wenn die Drehzahl des Rotors aus dem unteren Drehzahlbereich heraus ansteigt, wobei die Vorrichtung die Kugeln zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse des Rotors drängt, die eine Schwingung des Rotors initiiert, innerhalb eines zweiten Winkelbereichs, der kleiner als der erste Winkelbereich ist, um ein dynamisches Ungleichgewicht des Rotors, das von der unausgeglichene Masse hervorgerufen wird, zu minimieren.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist eine Zentrifuge geschaffen, die die folgenden Bauteile aufweist:

(a) ein Rotor, der durch eine Welle drehbar gelagert ist, wobei der Rotor einen Rotorkörper und eine Abdeckung umfaßt, wobei der Rotorkörper eine Vielzahl an Kamern

darin ausgebildet hat, mit Öffnungen zum Einsetzen und Herausnehmen von Mischungen, die getrennt werden sollen, wobei die Abdeckung auf dem Rotorkörper angeordnet ist, um die Öffnungen zu verschließen; (b) ein Motor, der den Rotor durch die Welle dreht; und (c) eine Kugelausgleichsvorrichtung, die in der Abdeckung des Rotors eingebaut ist. Die Kugelausgleichsvorrichtung umfaßt (1) ein Rotationsausgleichsvorrichtungsgehäuse, das eine zylindrische innere Seitenwand und einen Boden umfaßt, und eine ringförmige Laufbahn hat, die auf dem Boden entlang eines Umfangs der zylindrischen inneren Seitenwand ausgebildet ist, (2) Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses über einen ersten Winkelbereich angeordnet sind, und (3) eine Vorrichtung zum Halten der Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn über den ersten Winkelbereich angeordnet sind, innerhalb eines niedrigeren Drehzahlbereichs des Rotors, der niedriger als oder gleich einer Resonanzdrehzahl ist, das heißt einer Drehzahl des Rotors, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz eines Rotationssystems übereinstimmt, das den Rotor und die Kugelausgleichsvorrichtung umfaßt, was eine Schwingung des Rotationssystems dazu bringt, zuzunehmen, wenn die Drehzahl des Rotors aus dem unteren Drehzahlbereich heraus ansteigt, wobei die Vorrichtung die Kugeln zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse des Rotors drängt, die eine Schwingung des Rotors initiiert, innerhalb eines zweiten Winkelbereiches, der kleiner als der erste Winkelbereich ist, um ein dynamisches Ungleichgewicht des Rotors, hervorgerufen durch die unausgeglichene Masse, zu minimieren.

Die vorliegende Erfindung soll anhand der nachfolgenden detaillierten Beschreibung des bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert werden.

**Fig. 1** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Zentrifuge zeigt, die mit einer Kugelausgleichsvorrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ausgestattet ist.

**Fig. 2** ist eine vergrößerte Querschnittansicht, die die Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 1** zeigt.

**Fig. 3** ist eine Draufsicht, die die Kugeln innerhalb einer Kugelausgleichsvorrichtung zeigt, gerade nachdem sie angehoben wurden, wenn die Kugelausgleichsvorrichtung mit einer hohen Drehzahl schleudert.

**Fig. 4** ist eine Abwicklung, gesehen von P1 in **Fig. 2**, in der gezeigt ist, wie die Kugeln auf der gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse **15** gesammelt sind.

**Fig. 5** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Anordnung der Kugeln innerhalb der Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 1** während einer Rotation mit hoher Drehzahl zeigt.

**Fig. 6** ist ein Diagramm, das die Beziehungen zwischen der Amplitude der Rotorschwingung und der Rotordrehzahl zeigt, wenn drei Typen an herkömmlichen Zentrifugen langsam beschleunigt werden.

**Fig. 7** ist ein Diagramm, das die Beziehungen zwischen einer Amplitude einer Rotorschwingung und einer Rotordrehzahl in der Zentrifuge der Erfindung aus **Fig. 1** zeigt.

**Fig. 8** ist eine Abwicklung, die eine Anordnung der Kugeln zeigt, die in einer Kugelausgleichsvorrichtung gemäß dem zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel angeordnet sind.

**Fig. 9** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Kugelausgleichsvorrichtung während einer Rotation mit niedriger Drehzahl gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 10** ist eine vertikale Querschnittansicht, die die Bewegung der Kugeln in der Kugelausgleichsvorrichtung in

**Fig. 9** zeigt, wenn sie mit hoher Drehzahl gedreht wird.

**Fig. 11** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Kugelausgleichsvorrichtung während einer Rotation mit niedriger Drehzahl gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 12** ist eine Abwicklung, die die Bewegung der Kugeln zeigt, wenn die Drehzahl der Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 11** eine Resonanzdrehzahl übersteigt.

**Fig. 13** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Anordnung der Kugeln zeigt, wenn die Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 11** mit einer hohen Drehzahl dreht.

**Fig. 14** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Kugelausgleichsvorrichtung während einer Drehung mit niedriger Drehzahl gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 15** ist eine Abwicklung, die die Bewegung der Kugeln zeigt, gerade nachdem sie angehoben worden sind, wenn die Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 14** mit hoher Drehzahl schleudert.

**Fig. 16** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Anordnung der Kugeln zeigt, die auf einer Seite der Kugelausgleichsvorrichtung aus **Fig. 14** während einer Drehung mit hoher Drehzahl gesammelt sind.

**Fig. 17** ist eine Abwicklung, die die Bewegung der Kugeln innerhalb einer Kugelausgleichsvorrichtung während der Drehung gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 18** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Kugelausgleichsvorrichtung gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 19** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Konstruktion einer Zentrifuge gemäß dem achten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 20** ist eine vertikale Querschnittansicht, die eine Konstruktion einer Zentrifuge gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**Fig. 21** ist eine Draufsicht, die eine herkömmliche Kugelausgleichsvorrichtung zeigt.

**Fig. 22** ist eine vertikale Querschnittansicht von **Fig. 21**. Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, insbesondere auf **Fig. 1**, ist eine Zentrifuge **100** gezeigt, die mit einer Kugelausgleichsvorrichtung **200** gemäß der Erfindung ausgestattet ist.

Die Zentrifuge **100** umfaßt im allgemeinen ein äußeres Gehäuse **1**, eine innere Basis **2** und ein tassenförmiges inneres Gehäuse **12**. Die innere Basis **2** ist in dem äußeren Gehäuse **1** befestigt. Das innere Gehäuse **12** bildet zusammen mit einer Abdeckung **13** eine Kammer, in der ein Rotor **8** angeordnet ist. Der Rotor **8** ist durch eine Rotorwelle **7** drehbar gelagert. Die Rotorwelle **7** ist in einem Lager montiert, das in einem Träger **4** installiert ist, der auf einer Bodenwand des inneren Gehäuses **12** befestigt ist, und mit einem elektrischen Motor **3** verbunden. Der Motor **3** ist auf dem Träger **4** installiert. Zwischen dem Träger **4** und der inneren Basis **2** sind vier Dämpfervorrichtungen angeordnet, von denen jede aus einem Gummischlauch **6** und einer Feder **5** bestehen, die in dem Gummischlauch eingepreßt ist.

Auf Enden des Rotors **8** sind Becher **9** für Mischungen wie flüssige Lösungen angeordnet, die durch Drehung des Rotors **8** getrennt werden sollen. Die Becher **9** sind durch Zapfen **10** schwenkbar gelagert. Die Kugelausgleichsvorrichtung **200** umfaßt einen hohlen Drehausgleichsvorrichtungskörper **20**. Der Ausgleichsvorrichtungskörper **20** ist auf einer Welle **11** installiert, die mit einem Gewinde versehen ist, die mit dem Rotor **7** verbunden ist, und es sind Kugeln **21** darin angeordnet. Der Ausgleichsvorrichtungskörper **20**, der Rotor **8** und die Becher **9** werden durch den Motor **3** in der Kammer gemeinsam gedreht, die durch das in-

nerer Gehäuse 12 und die Abdeckung 13 gebildet wird. Die Abdeckung 13 ist offenbar, wenn der Rotor 8 in einer Ruhestellung ist, um die zu trennenden Mischungen in die Becher 9 hineinzulegen und aus den Bechern 9 herauszunehmen. Fig. 1 zeigt den Rotor 8, wenn er mit einer hohen Drehzahl schleudert. Die Becher 9 sind durch die Zentrifugalkraft in eine horizontale Richtung nach außen gedrängt, die durch die Rotation des Rotors 8 mit einer hohen Drehzahl erzeugt wird. Die Kugeln 21 sind über eine Drehachse gedrängt (das heißt die Rotorwelle 7), zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse 15, die ein Massenunterschied zwischen den Mischungen ist, die in den Bechern 9 gegeben sind, um ein dynamisches Gleichgewicht des Rotors 8 zu gewährleisten. Im speziellen wird eine Verschiebung des Schwerpunktes des Rotors 8 während der Drehung, hervorgerufen durch die unausgeglichene Masse 15, durch die beeinflussten Kugeln 21 korrigiert, so daß der Schwerpunkt des Rotors 8 auf der Rotorwelle 7 liegt.

In der Zentrifuge 100 wird der Rotor 8 dazu veranlaßt, daß er mit einer Resonanzdrehzahl dreht, die durch die Masse und das Trägheitsmoment des Motors 3 und des Rotors 8 und die Federkonstante und den Dämpfungskoeffizienten der Dämpfervorrichtungen, die aus den Federn 5 und den Gummischläuchen 6 bestehen, bestimmt wird. Solche Vibrationen können somit durch Optimieren des Dämpfungskoeffizienten abgeschwächt werden.

Fig. 2 zeigt die Kugelausgleichsvorrichtung 200, wenn sie mit einer niedrigen Drehzahl schleudert.

Die Kugelausgleichsvorrichtung 200 ist konstruiert, um Belastungen, die auf ein rotierendes System, das den Rotor 8, die Kugelausgleichsvorrichtung 200, etc. umfaßt, in einer radialen Richtung während der Drehung wirken, auszugleichen. Der Ausgleichsvorrichtungskörper 20 umfaßt einen hohlen zylindrischen Abschnitt 22, einen kegelförmigen mittigen Abschnitt 60 und einen ringförmigen Boden 24 zwischen dem zylindrischen Abschnitt 22 und dem kegelförmigen mittigen Abschnitt 60, und einen ringförmigen Stopper 25, der sich von einem oberen Ende des zylindrischen Abschnitts 22 nach innen erstreckt. Der zylindrische Abschnitt 22 hat eine innere Seitenwand 65. Die innere Seitenwand 65 ist so in einem vorausgewählten Krümmungsradius nach außen gekrümmt, daß das Intervall zwischen der vertikalen Mittellinie (das heißt der Rotationsachse der Kugelausgleichsvorrichtung 200) und der inneren Seitenwand 65 auf ein vorausgewähltes Niveau 23 angehoben wird und oberhalb des Niveaus 23 abnimmt. Der kegelförmige mittige Abschnitt 60 hat in seiner Mitte eine Bohrung 28 ausgebildet, in der ein Innengewinde zum Eingriff mit der Welle 11, die mit der Rotorwelle 7 verbunden ist, ausgebildet ist. Der ringförmige Boden 24 hat die Breite  $w$ , die kleiner als der Durchmesser der Kugeln 21 ist, und die zusammen mit unteren Abschnitten des zylindrischen Abschnitts 22 und des kegelförmigen mittigen Abschnitts 60 eine ringförmige Laufbahn bildet, entlang der die Kugeln 21 in einer Linie angeordnet sind. Die Kugeln 21 haben im wesentlichen denselben Durchmesser und belegen die gesamte Länge der ringförmigen Laufbahn. Jede der Kugeln 21 ist aus Stahl, aus hochdichtem Kunstharz, oder aus hochdichtem Gummi hergestellt. Das Schmiermittel oder Schmiere wird auf die Innenseite des Ausgleichsvorrichtungskörpers 20 aufgebracht, um Verschleiß und Rost der Kugeln 21 zu vermeiden.

Eine Abdeckung 26 ist auf dem ringförmigen Stopper 25 durch Schrauben 27 installiert. Die Abdeckung 26 hat in ihrer Mitte ein Luftloch 29 ausgebildet.

Der Abstand  $h$  zwischen dem ringförmigen Stopper 25 und dem ringförmigen Boden 24 (d. h. die Höhe der inneren Seitenwand 65) ist größer als, oder gleich um ungefähr 1,4

bis 2 Mal der Durchmesser der Kugeln 21, um es den Kugeln 21 zu gestatten, in der Kugelausgleichsvorrichtung 200 während einer Drehung des Rotors 8 mit hoher Drehzahl gestapelt angeordnet zu sein.

Die Last, die auf jede der Kugeln 21 während der Drehung des Rotors 8 mit niedrigen Drehzahlen wirkt, wie in Fig. 2 gezeigt ist, bringt die Schwerkraft  $F_g$  und die Zentrifugalkraft  $F_r$  mit sich. Die resultierende Kraft  $F_t$  drängt jede Kugel 21 in einen konstanten Eingriff mit dem ringförmigen Boden 24 und der zylindrischen Seitenwand 23. Die Kugeln 21, wie vorstehend beschrieben, belegen im wesentlichen die gesamte Länge der ringförmigen Laufbahn (d. h. den ringförmigen Boden 24), so daß diese entlang der ringförmigen Laufbahn ausgerichtet sind, ohne zur gegenüberliegenden Seite der unausgeglichene Masse 15 gedrängt zu werden.

Im speziellen sind die Kugeln 21 während der Drehung des Rotors 8 mit niedriger Drehzahl alle in Kontakt mit dem ringförmigen Boden 24 und der Winkel  $S_2$  zwischen der resultierenden Kraft  $F_t$  und einer horizontalen Linie ist größer als die Neigung  $S_1$  einer inneren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts 22 (d. h. ein Winkel zwischen einer Tangente, die durch einen Punkt auf der inneren Seitenwand 65 geht, mit dem jede Kugel 21 in Kontakt ist, und einer vertikalen Linie). Wenn die Rotordrehzahl zunimmt, um die Zentrifugalkraft  $F_r$  zu erhöhen, und der Winkel  $S_2$  kleiner als die Neigung  $S_1$  wird, wird bewirkt, daß die Kugeln 21 weg von dem ringförmigen Boden 24 angehoben werden.

Die Neigung  $S_2$  der inneren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts 22 kann wie folgt ausgedrückt werden.

$$\tan(S_2) = g/r \times \omega^2 \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi \times n \quad (2)$$

wobei  $g$  die Gravitationsbeschleunigung ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ),  $r$  der Abstand zwischen dem Drehmittelpunkt der Kugelausgleichsvorrichtung 200 und der Mitte einer jeden Kugel 21 (m),  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit (rad/s),  $\pi$  die Kreiszahl und  $n$  die Drehzahl (U/sec [rps]) ist.

Da die Amplitude der Vibration viel kleiner als ein innerer Durchmesser des zylindrischen Abschnitts 22 ist, ist ein Fehler in der Gleichung (1) klein, wenn  $r$  der Abstand zwischen dem Mittelpunkt des zylindrischen Abschnitts 22 und dem Mittelpunkt einer jeden Kugel 21 wäre.

Im speziellen, wenn die Rotordrehzahl eine Drehzahl übersteigt, bei der der Wert von  $S_2$ , der in der Gleichung (1) ermittelt wird, gleich zu der Neigung  $S_1$  wird, wird bewirkt, daß die Kugeln 21 von dem ringförmigen Boden 24 weg angehoben werden. Die Rotordrehzahl, bei der die Kugeln 21 angehoben werden können, bestimmt sich somit auf der Basis der Neigung  $S_1$  und des Radius der inneren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts 22, mit der jede Kugel 21 in Kontakt ist (das heißt das Intervall zwischen der unteren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts 22 und der Drehachse der Kugelausgleichsvorrichtung 200). Dies bestimmt auch einen unteren Drehzahlbereich des Rotors 8, in dem die Kugeln 21 auf dem ringförmigen Boden 24 ausgerichtet bleiben, ohne daß sie angehoben werden und durch ein dynamisches Ungleichgewicht des Rotationssystems beeinflusst werden. Dieses Ausführungsbeispiel beseitigt den Einfluß der Bewegung der Kugeln 21 in der Kugelausgleichsvorrichtung 200 bei der Drehung des Rotors 8 mit der Resonanzdrehzahl durch Festlegen der Rotordrehzahl, bei der die Kugeln 21 beginnen, angehoben zu werden, auf einen höheren Wert als die Resonanzdrehzahl, bei der die Schwingung des Rotors 8 (das heißt des Rotationssystems) stark ansteigt.

Die Kugelausgleichsvorrichtung 200 kann, wenn sie in

einer Zentrifuge verwendet wird, in der ein Rotor mit 3000 U/min. (rpm) gedreht wird und die Resonanzdrehzahl, 400 bis 450 U/min. beträgt, so konstruiert sein, als ein Beispiel, daß sie die folgenden Spezifikationen aufweist:

1. Der Krümmungsradius des zylindrischen Abschnitts **22** des Ausgleichsvorrichtungskörpers **20** beträgt 200 mm;
2. der Radius einer inneren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts **22**, mit der jede Kugel **21** in Kontakt ist (das heißt ein Intervall zwischen der unteren inneren Oberfläche und einer Drehachse der Kugelausgleichsvorrichtung **200**) beträgt 52 mm;
3. der Durchmesser einer jeden Kugel **21** beträgt 22 mm; 4. die Höhe zwischen dem ringförmigen Boden **24** und dem Niveau **23** beträgt 28 mm.

**Fig. 3** zeigt das Innere der Kugelausgleichsvorrichtung **200**, gerade nachdem einige der Kugeln **21** den ringförmigen Boden **24** verlassen haben, wenn der Rotor **8** mit einer hohen Drehzahl schleudert, die größer als die Resonanzdrehzahl ist.

Der Drehmittelpunkt **P2** der Kugelausgleichsvorrichtung **200** ist durch die unausgeglichene Masse **15** von dem Mittelpunkt **P1** des zylindrischen Abschnitts **22** nahe dem Schwerpunkt des Rotationssystems (das den Rotor **8**, die Kugelausgleichsvorrichtung **200**, etc. umfaßt) verschoben. Die Zentrifugalkraft  $F_r$ , die auf jede Kugel **21** wirkt, ist, wie deutlich in der Zeichnung gezeigt ist, radial von dem Drehmittelpunkt **P2** ausgerichtet und kann in eine vertikale Komponente  $F_v$  in einer Richtung senkrecht zum Umfang der inneren Seitenwand **65** des zylindrischen Abschnitts **22**, und eine horizontale Komponente  $F_h$  in einer Richtung senkrecht zur vertikalen Komponente  $F_v$  aufgeteilt werden. Die horizontale Komponente  $F_h$  bewegt jede Kugel **21** weg von der unausgebalancierten Masse **15** entlang der inneren Seitenwand **65** des zylindrischen Abschnitts **22**, so daß die Kugeln **21** nahe aneinander auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse **15** gesammelt werden.

**Fig. 4** ist eine Abwicklung, von **P1** in **Fig. 3** aus gesehen, die die Kugeln **21** zeigt, die beginnen, beeinflußt zu werden oder auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse **15** gesammelt zu werden. Nach dem Verlassen des ringförmigen Bodens **24** werden die Kugeln **21** alle auf das Niveau **30** hinaufbewegt, bei dem der Winkel  $S_2$  zwischen der resultierenden Kraft  $F_r$  und der horizontalen Linie mit der Neigung  $S_1$  der inneren Oberfläche des zylindrischen Abschnitts **22** übereinstimmt mit dem jede Kugel **21** in Kontakt ist, und anschließend durch die horizontalen Komponenten  $F_h$  der Zentrifugalkräfte  $F_r$  nahe aneinander gesammelt, nachdem einige der Kugeln **21** von dem Niveau **30** nach oben verschoben wurden, während die übrigen von dem Niveau **30** aufgrund der Unterschiede der Rollreibung zwischen den Kugeln **21** nach unten verschoben werden. Die horizontale Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$ , die jede Kugel **21** in eine Umfangsrichtung des zylindrischen Abschnitts **22** bewegt, bewirkt eine Reaktionskraft  $F_p$ , die von einer benachbarten entwickelt wird. Wenn die Kugeln **21** nach oben und nach unten verschoben werden, wie in **Fig. 4** gezeigt ist, erzeugen die Reaktionskräfte  $F_p$  jeweils aufwärts gerichtete Komponenten  $F_u$  und abwärtsgerichtete Komponenten  $F_d$ . Die aufwärtsgerichteten Komponenten  $F_u$  schieben einige der Kugeln **21** nach oben, die von dem Niveau **30** nach oben verschoben sind, während die nach unten gerichteten Komponenten  $F_d$  desweiteren die übrigen nach unten stoßen, die von dem Niveau **30** nach unten verschoben sind. In einzelnen werden die Kugeln **21** in der Kugelausgleichsvorrichtung **200** auf der gegenüberliegenden

Seite der unausgebalancierten Masse **15** durch die horizontalen Komponenten  $F_h$  der Zentrifugalkräfte  $F_r$  gesammelt und angeordnet, wie klar aus **Fig. 4** hervorgeht, in einer gestapelten Art, durch die nach oben und nach unten gerichteten Komponenten  $F_u$  und  $F_d$  der Reaktionskräfte  $F_p$ .

**Fig. 5** zeigt die Kugeln **21**, die von dem ringförmigen Boden **24** weg angehoben worden sind und auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse **15** gesammelt wurden, während der Rotor **8** mit einer hohen Drehzahl oberhalb der Resonanzdrehzahl schleudert. Die Kugeln **21** fahren fort, beeinflußt zu werden oder zur gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse **15** bewegt zu werden, bis die horizontale Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$  proportional zur Verschiebung zwischen dem Mittelpunkt **P1** des zylindrischen Abschnitts **22** und dem Drehmittelpunkt **P2**, eine nach unten gerichtete Kraft, die die nach oben verschobenen Kugeln **21** zum Niveau **30** herunterstoßen, das heißt die resultierende Kraft der Gravitationskraft und einer nach unten gerichteten Komponente der Zentrifugalkraft  $F_r$ , und eine nach oben gerichtete Kraft, die die nach unten verschobenen Kugeln **21** zum Niveau **30** hinaufstößt, das heißt der Unterschied zwischen der Gravitationskraft und einer nach oben gerichteten Komponente der Zentrifugalkraft  $F_r$ , ausgeglichen sind.

Deshalb läßt ein Ansteigen des Krümmungsradius der inneren Seitenwand **65** des zylindrischen Abschnitts **22**, die nach unten und nach oben gerichteten Kräfte, die auf die Kugeln **21** wirken, abnehmen, was in einer Zunahme der relativen Aktivität der horizontalen Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$  resultiert, was es den Kugeln **21** gestattet, stärker über das Niveau **30** verschoben zu werden. Im einzelnen ist das Gesamtgewicht der Kugeln **21** in einem engeren Winkelbereich gegenüber der unausgebalancierten Masse **15** konzentriert, um einen größeren Ausgleich des Rotationssystems zu schaffen. Dies resultiert in einer großen Reduzierung der Vibration des Rotors **8** während einer Drehung mit hoher Drehzahl.

Im Test wurde der Rotor **8** mit einer Umdrehung von 3000 U/min. gedreht, während die Kugelausgleichsvorrichtung **200**, in der die Kugeln **21** mit einem Durchmesser von 22 mm angeordnet waren, verwendet wird. Ein maximaler Innendurchmesser **23** der inneren Seitenwand **65** betrug 110 mm. Der Krümmungsradius der inneren Seitenwand **65** betrug 200 mm. Die Testergebnisse zeigten, daß die Vibration, die während der Drehung des Rotors **8** mit hoher Drehzahl erzeugt wurden, um ungefähr ein Fünftel gegenüber denjenigen reduziert wurden, die in einem herkömmlichen System ohne Verwendung der Kugelausgleichsvorrichtung **200** erzeugt wurden.

**Fig. 6** zeigt die Verhältnisse zwischen einer Amplitude der Rotorvibration und der Rotordrehzahl, wenn drei Typen an herkömmlichen Zentrifugen langsam beschleunigt werden. Die durchgezogene Linie **A** zeigt eine Veränderung der Amplitude einer Rotorvibration in der ersten herkömmlichen Zentrifuge an, in der Mischungen, die getrennt werden sollen, eine unausgeglichene Masse auf einen Rotor akkumulieren und zeigt, daß die Amplitude der Rotorvibration maximiert wird, wenn die Rotordrehzahl eine Resonanzdrehzahl  $n_1$  erreicht, die durch die Masse des Rotors und einen den Rotor antreibenden Motor und den Federkoeffizienten eines Dämpfungssystems, das aus elastischen Komponenten wie der Feder **5** und dem Gummischlauch **6** besteht, die in der Zentrifuge **100** der Erfindung verwendet werden, bestimmt und auf einem relativ hohen Niveau gehalten wird, sogar nachdem die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl  $n_1$  übersteigt. In diesem Fall sind das mechanische Geräusch, das durch die Vibration des Rotors hervorgerufen wird, und Belastungen, die auf eine Rotorwelle und ein Lager wirken,

während der Rotation mit niedriger Drehzahl gering, aber wenn die Amplitude der Rotorvibration während einer Rotation mit hoher Drehzahl groß wird, wirken größere Belastungen auf die Rotorwelle und das Lager, wodurch das mechanische Geräusch ansteigt und bewirkt wird, daß die Rotorwelle und das Lager vorzeitig beschädigt werden.

Die gestrichelte Linie B zeigt eine Veränderung der Amplitude einer Rotorvibration in der zweiten herkömmlichen Zentrifuge, die mit der Kugelausgleichsvorrichtung ausgestattet ist, wie in den Fig. 21 und 22 gezeigt ist, wenn Mischungen, die getrennt werden sollen, dem Rotor eine im wesentlichen gleiche unausgeglichene Masse zufügt, wie jene in der ersten herkömmlichen Zentrifuge, die durch die durchgezogene Linie A angedeutet ist. In diesem Fall wird die Amplitude der Rotorvibration schnell angehoben, wenn sich die Rotordrehzahl der Resonanzdrehzahl  $n_1$  nähert, aber die Rotordrehzahl kann die Resonanzdrehzahl  $n_1$  aufgrund eines dynamischen Ungleichgewichts des Rotors nicht überschreiten.

Die zweipunktierte gestrichelte Linie C zeigt eine Veränderung der Amplitude einer Rotorvibration in der dritten herkömmlichen Zentrifuge, die mit der Kugelausgleichsvorrichtung ausgestattet ist, wie in den Fig. 21 und 22 gezeigt ist, wenn die Gewichte von Mischungen, die getrennt werden sollen, in einem Rotor ausgeglichen werden, um ein dynamisches Ungleichgewicht des Rotors während der Drehung zu minimieren. Wenn sich die Rotordrehzahl der Resonanzdrehzahl  $n_1$  nähert, werden in diesem Fall die Kugeln in der Kugelausgleichsvorrichtung beeinflußt, wodurch die Amplitude der Rotorvibration erhöht wird, im Vergleich zur Linie A, aber die Amplitude der Rotorvibration nimmt schnell ab, wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl  $n_1$  übersteigt.

Es wird geschätzt, daß die herkömmliche Kugelausgleichsvorrichtung den Vorteil hat, daß die Amplitude der Rotorvibration in einem Bereich mit hoher Drehzahl oberhalb der Resonanzdrehzahl  $n_1$  reduziert wird, aber bringt den Nachteil mit sich, daß die Amplitude der Rotorvibration groß wird, wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl  $n_1$  erreicht.

Fig. 7 zeigt die Beziehungen zwischen der Amplitude einer Rotorvibration und der Rotordrehzahl in der Zentrifuge 100 der Erfindung, wenn die unausgeglichene Masse 15 im wesentlichen dieselbe ist, wie jene in der ersten herkömmlichen Zentrifuge, die durch die durchgezogene Linie A in Fig. 6 gezeigt ist. Die Amplitude der Rotorvibration wird wie diejenige verändert, die durch die Linie A in Fig. 6 angezeigt ist, innerhalb eines Bereichs mit niedriger Drehzahl vom Start der Rotation des Rotors 8 zur Drehzahl  $n_2$ , bei der die Kugeln 21 weg von dem ringförmigen Boden 24 der Kugelausgleichsvorrichtung 200 angehoben werden. Wenn die Rotordrehzahl die Drehzahl  $n_2$  übersteigt, werden die Kugeln 21 nach oben entlang der inneren Seitenwand 65 des zylindrischen Abschnitts 22 bewegt und auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse 15 gesammelt, was die unausgeglichene Masse 15 ausgleicht, womit eine Abnahme der Amplitude der Rotorvibration erfolgt. Wenn die Rotordrehzahl weiter ansteigt, wird das Verhältnis der Zentrifugalkraft  $F_r$  zur Gravitationskraft  $F_g$ , die auf die Kugeln 21 wirkt, groß. Dies erhöht die horizontale Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$ , so daß die Kugeln 21 in einem engeren Winkelbereich innerhalb der Kugelausgleichsvorrichtung 200 konzentriert werden, wodurch eine stärkere Abnahme der Amplitude der Rotorvibration resultiert.

Fig. 8 zeigt das zweite Ausführungsbeispiel der Kugelausgleichsvorrichtung 200, das sich von dem obigen ersten Ausführungsbeispiel nur dadurch unterscheidet, daß Kugeln 21a mit großem Durchmesser und Kugeln 21b mit kleinem

Durchmesser abwechselnd in der Kugelausgleichsvorrichtung 200 angeordnet sind. Andere Anordnungen sind identisch und deren detaillierte Erläuterung wird hier weggelassen.

Während der Rotor 8 mit einer niedrigen Drehzahl, die niedriger oder gleich der Resonanzdrehzahl ist, schleudert, sind die Kugeln 21a und 21b auf dem ringförmigen Boden 24 ausgerichtet, ohne beeinflußt zu sein, so daß der Mittelpunkt einer jeden Kugel 21 mit großem Durchmesser auf einem Niveau liegt, das höher ist als der Mittelpunkt einer jeden Kugel 21b mit kleinem Durchmesser. Wenn der Rotor 8 fortfährt, in einem unausgebalancierten Zustand zu schleudern, ruft die horizontale Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$ , die jede der Kugeln 21a und 21b in einer Horizontalrichtung bewegt, die Entwicklung der Reaktionskraft  $F_p$  von einer benachbarten hervor. Die Reaktionskraft  $F_p$ , wie sie vorstehend beschrieben wurde, besteht aus der nach oben gerichteten Komponente  $F_u$  und der nach unten gerichteten Komponente  $F_d$ . Die nach oben gerichtete Komponente  $F_u$  stößt jede der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a nach oben, während die nach unten gerichtete Komponente  $F_d$  jede der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b nach unten stößt. Wenn die Drehzahl des Rotors 8 die Resonanzdrehzahl übersteigt, werden die Kugeln 21a und 21b wie im ersten Ausführungsbeispiel von dem ringförmigen Boden 24 weg angehoben und die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a werden durch die nach oben gerichtete Komponente  $F_u$  nach oben verschoben, während die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b durch die nach unten gerichtete Komponente  $F_d$  nach unten verschoben werden. Die Kugeln 21a und 21b werden in einer gestapelten Art an die gegenüberliegende Seite der unausgebalancierten Masse 15 gedrängt, um die unausgeglichene Masse 15 auszugleichen. In speziellen werden in diesem Ausführungsbeispiel die Kugeln 21a und 21b unmittelbar nach dem Verlassen des ringförmigen Bodens 24 schnell in der gestapelten Art angeordnet, wobei sie die Oszillation des Rotors 8 reduzieren.

Die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b können alternativ so in dem Ausgleichsvorrichtungskörper 20 angeordnet sein, daß zwei oder mehr Kugeln mit großem Durchmesser 21a oder der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b aneinandergrenzend angeordnet werden.

Die Fig. 9 und 10 zeigen das dritte Ausführungsbeispiel der Ausgleichsvorrichtung 200. Die Fig. 9 zeigt die Kugeln 21, wenn der Rotor 8 oder die Kugelausgleichsvorrichtung 200 mit einer niedrigen Drehzahl schleudert, die niedriger als oder gleich zu der Resonanzdrehzahl ist, während Fig. 10 die Kugeln 21 zeigt, wenn die Kugelausgleichsvorrichtung 200 mit einer hohen Drehzahl schleudert, die größer als die Resonanzdrehzahl ist.

In diesem Ausführungsbeispiel besteht das Innere des zylindrischen Abschnitts 22 des Ausgleichsvorrichtungskörpers 20 aus einer oberen inneren Wand 31 und einer unteren inneren Wand 32. Die obere innere Wand 31 hat einen Krümmungsradius, der größer als jener der unteren inneren Wand 32 ist, oder sie kann alternativ eine flache Oberfläche sein, die sich parallel zu einer Drehachse des Ausgleichsvorrichtungskörpers 20 erstreckt (d. h. die Welle 11 in Fig. 1). Die Höhe  $h$  der oberen inneren Wand 31 ist 1,4 oder mehr mal größer als der Durchmesser einer jeden Kugel 21 und gestattet den Kugeln 21, daß sie in einer gestapelten Art während der Drehung des Rotors 8 mit einer Drehzahl, die höher als die Resonanzdrehzahl ist, in dem Ausgleichsvorrichtungskörper 20 angeordnet werden. Der innere Durchmesser eines unteren Abschnitts der unteren inneren Wand 32 und die Neigung 31 sind so bestimmt, daß die Rotordrehzahl größer ist als die Resonanzdrehzahl, wenn die Kugeln



21 von dem ringförmigen Boden 24 weg angehoben werden, um den Einfluß der Bewegung der Kugeln 21 in der Kugelausgleichsvorrichtung 200 auf den Rotor 8 während der Schwingung bei der Resonanzdrehzahl zu beseitigen. Die untere innere Wand 31 führt die obere innere Wand 31 gleichmäßig ohne irgendwelche Vorsprünge fort. Andere Anordnungen sind identisch zu denjenigen des ersten Ausführungsbeispiels und eine detaillierte Beschreibung davon wird hier weggelassen.

Im Betrieb, wenn der Rotor 8 mit einer Drehzahl schleudert, die höher als die Resonanzdrehzahl ist, werden die Kugeln 21, wie in Fig. 10 gezeigt ist, zur oberen inneren Wand 31 angehoben. Die obere innere Wand 31 hat, wie vorstehend beschrieben wurde, den Krümmungsradius, der größer ist als derjenige der unteren inneren Wand 32 oder eine flache Oberfläche. Speziell in dem Fall der flachen Oberfläche wird die nach unten gerichtete Kraft, die einige der Kugeln 21, die nach oben verschoben sind, nach unten stoßt, und die nach oben gerichtete Kraft, die die übrigen nach unten verschobenen nach oben stoßt, wie unter Bezugnahme auf Fig. 5 diskutiert wurde, viel kleiner als diejenigen, die in den jeweiligen obigen Ausführungsbeispielen erzeugt werden. Speziell wenn die Kugeln 21 die obere innere Wand 31 erreichen, nimmt die nach oben gerichtete Kraft auf ungefähr Null ab, während das meiste der nach unten gerichteten Kraft durch die Gravitationskraft geschaffen wird. Die nach oben und nach unten gerichteten Kräfte werden deshalb kleiner als die horizontale Komponente  $F_h$  der Zentrifugalkraft  $F_r$ , die horizontal auf die Kugeln 21 wirkt, um die Kugeln 21 in die gestapelte Anordnung zu bringen, wodurch bewirkt wird, daß die Kugeln 21 schnell zur gegenüberliegenden Seite der unausgeglichene Masse 15 gedrängt werden. Dies resultiert in einer Abnahme des übrigeblebenen Ungleichgewichts, nachdem die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl überstiegen hat.

Die Fig. 11 bis 13 zeigen das vierte Ausführungsbeispiel der Kugelausgleichsvorrichtung, die eine Abwandlung des zweiten Ausführungsbeispiels ist, die in Fig. 8 gezeigt ist. Die Fig. 11 zeigt die Kugelausgleichsvorrichtung 200, wenn sie mit einer niedrigen Drehzahl, die niedriger oder gleich der Resonanzdrehzahl ist, dreht.

Der Ausgleichsvorrichtungskörper 20 umfaßt einen zylindrischen Abschnitt 42, der eine flache innere Seitenwand 52 hat, die sich parallel zur Drehachse (das heißt des Rotors 11 in Fig. 1) der Kugelausgleichsvorrichtung 200 erstreckt. Die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b sind abwechselnd angeordnet und belegen im wesentlichen die gesamte Länge des ringförmigen Bodens 24. Der ringförmige Boden 24 hat die Breite, die es den Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a gestattet, in Kontakt mit dem ringförmigen Boden 24 angeordnet zu werden. Die Höhe  $h$  der inneren Seitenwand 52 ist kleiner als die Summe der Durchmesser einer jeden Kugel mit großem Durchmesser 21a und einer jeden Kugel mit dem kleinen Durchmesser 21b und gestattet es den Kugeln 21a und 21b, während einer Rotation der Kugelausgleichsvorrichtung 200 mit hoher Drehzahl in einer Reihe in der gestapelten Art angeordnet zu werden, verhindert jedoch, daß eine der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a ihre Position zur angrenzenden einen der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b verändert.

Die resultierende Kraft  $F_t$  der Gravitationskraft  $F_g$  und der Zentrifugalkraft  $F_r$  wirkt, wie klar in der Fig. 11 gezeigt ist, diagonal nach unten auf den zylindrischen Abschnitt 42. Wenn keine unausgeglichene Masse da ist, belegen somit die Kugeln 21a und 21b die gesamte Länge des ringförmigen Bodens 24, ohne daß sie auf eine Seite des zylindrischen Abschnitts 42 gedrängt werden, sogar wenn der Rotor 8 mit

einer Drehzahl schleudert, die höher als die Resonanzdrehzahl ist.

Fig. 12 ist eine Abwicklung, wie sie von der Mitte des zylindrischen Abschnitts 42 in eine Richtung entgegengesetzt zu einer unausgebalancierten Masse des Rotors 8 gesehen wird, die das Innere der Kugelausgleichsvorrichtung 200 zeigt, wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl übersteigt.

Die Kugeln 21a und 21b werden durch die horizontalen Komponenten  $F_h$  der Zentrifugalkräfte  $F_r$  in eine enge Anordnung gedrängt, wobei sie Reaktionskräfte  $F_p$  entwickeln, die von jeder der benachbarten einen der Kugeln 21a und 21b ausgeübt wird. Die Reaktionskräfte  $F_p$ , wie vorstehend beschrieben, erzeugen jeweils die nach oben und nach unten gerichteten Komponenten  $F_u$  und  $F_d$ . Die nach oben gerichteten Komponenten  $F_u$  stoßen die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a nach oben, während die nach unten gerichteten Komponenten  $F_d$  die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b nach unten stoßen. Jede der Komponenten  $F_u$  und  $F_d$  wird in einem Verhältnis zur Zentrifugalkraft  $F_r$ , einer Verschiebung zwischen dem Mittelpunkt P1 des zylindrischen Abschnitts 42 und des Drehmittelpunkts P2, die durch die Anwesenheit der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 hervorgerufen wird, und einem Höhenunterschied zwischen der Mitte der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und der Mitte der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b, mit anderen Worten einer Durchmesserdifferenz zwischen den Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und den Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b, bestimmt. In diesem Ausführungsbeispiel sind der innere Durchmesser des zylindrischen Abschnitts 42 und die Durchmesserdifferenz zwischen den Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und den Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b so bestimmt, daß die Rotordrehzahl, bei der die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a durch die Zentrifugalkraft, die auf die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b wirkt, angehoben werden, größer ist, als die Resonanzdrehzahl, bei der die Oszillation des Rotors 8 stark ansteigt.

Fig. 13 zeigt das Innere der Kugelausgleichsvorrichtung 200, wenn der Rotor 8 mit einer Drehzahl schleudert, die höher als die Resonanzdrehzahl ist. Nachdem der Rotor die Resonanzdrehzahl überstiegen hat, werden die Kugeln 21a und 21b von dem ringförmigen Boden 24 weg angehoben und anschließend auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 in einer gestapelten Anordnung gesammelt, wie in der Zeichnung gezeigt ist, wobei die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a durch die nach oben gerichteten Komponenten  $F_u$  der Reaktionskräfte  $F_p$ , die von einer jeden benachbarten der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b ausgeübt werden, auf die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b gelegt werden. Jede der nach oben gerichteten Komponenten  $F_u$  ist proportional zum Quadrat der Drehzahl des Rotors 8, aber die nach unten gerichtete Kraft, die die nach oben verschobenen Kugeln 21a nach unten stoßt, ist in diesem Ausführungsbeispiel nur durch die Gravitationskraft geschaffen, die ein konstanter Wert ist. Wenn die Rotordrehzahl die Resonanzdrehzahl übersteigt, werden deshalb die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a schnell nach oben bewegt und alle die Kugeln 21a und 21b werden in einer gestapelten Anordnung auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 gesammelt.

Dieses Ausführungsbeispiel gestattet es dem zylindrischen Abschnitt 42, in der Höhe verringert zu sein, im Vergleich zu den obigen Ausführungsbeispielen, was in einer verminderten Größe der Kugelausgleichsvorrichtung 200 resultiert.



Die Fig. 14 bis 16 zeigen das fünfte Ausführungsbeispiel der Kugelausgleichsvorrichtung 200, die eine Abwandlung des vierten Ausführungsbeispiels ist, das in den Fig. 11 bis 13 gezeigt war. Fig. 14 zeigt die Kugelausgleichsvorrichtung 200, wenn sie sich mit einer Drehzahl dreht, die niedriger als die Resonanzdrehzahl ist.

Der Ausgleichsvorrichtungskörper 20 umfaßt einen zylindrischen Abschnitt 42, der eine obere Innenwand 33 und eine untere Innenwand 34 hat. Die obere Innenwand 33 hat eine flache Oberfläche, die sich parallel zur Drehachse (das heißt der Welle 11 in Fig. 1) der Kugelausgleichsvorrichtung 200 erstreckt. Die untere Innenwand 34 hat eine flache Oberfläche, die mit einem gegebenen Winkel relativ zur oberen inneren Wand 33 so geneigt ist, daß sie einen geringsten Durchmesser an ihrem unteren Ende davon hat, an dem sie den ringförmigen Boden 24 fortführt. Die Höhe  $h_1$  der oberen Innenwand 33 ist annähernd 1,5 mal der Durchmesser der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a, was es den Kugeln 21a und 21b gestattet, während einer Drehung des Rotors 8 mit hoher Drehzahl in der gestapelten Art angeordnet zu sein. Die Höhe  $h_2$  der unteren Innenwand 34 ist größer als der Radius der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a. Der ringförmige Boden 24 hat die Breite, die es nur einer der Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a gestattet, auf dem ringförmigen Boden 24 in einer Breitenrichtung angeordnet zu sein. Die Kugeln mit dem großen Durchmesser und dem kleinen Durchmesser 21a und 21b sind abwechselnd angeordnet und belegen im wesentlichen die gesamte Länge des ringförmigen Bodens 24. Andere Anordnungen sind identisch zu denjenigen des vierten Ausführungsbeispiels und eine detaillierte Beschreibung davon wird hier weggelassen.

Fig. 15 ist eine Abwicklung, wie sie von der Mitte des zylindrischen Abschnitts 42 in eine einer unausgeglichene Masse des Rotors 8 entgegengesetzten Richtung gesehen wird, die die Kugeln mit dem großen und den kleinen Durchmessern 21a und 21b zeigt, unmittelbar nachdem sie die geneigte untere Innenwand 34 aufgestiegen sind, wenn der Rotor 8 mit einer Drehzahl schleudert, die höher als die Resonanzdrehzahl ist. Nach dem Aufsteigen auf ein unteres Ende der oberen Innenwand 33 werden die Kugeln 21a und 21b entlang der Grenze der oberen und unteren Innenwände 33 und 34 zur gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 bewegt und durch die horizontalen Komponenten  $F_r$  der Zentrifugalkräfte  $F_r$ , die während der Drehung auf die Kugeln 21a und 21b wirken, nahe aneinander gesammelt.

Fig. 16 zeigt die Kugeln 21a und 21b, die auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 während der Drehung des Rotors 8 mit einer Drehzahl, die höher als die Resonanzdrehzahl ist, gesammelt sind. Infolge des Aufsteigens zur oberen Innenwand 33 während der Drehung des Rotors 8 mit einer Drehzahl, die höher als die Resonanzdrehzahl ist, werden die Kugeln 21a und 21b zur gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 gedrängt und nach oben und nach unten in einer gestapelten Art verschoben, wobei die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a durch die nach oben und nach unten gerichteten Komponenten  $F_u$  und  $F_d$  der Reaktionskräfte  $F_p$ , die jeweils von jeder angrenzenden der Kugeln 21a und 21b ausgeübt werden, auf die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser 21b gehoben. Die nach unten gerichtete Kraft, die die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a nach unten drängt, nachdem sie zur oberen Innenwand 33 angehoben wurden, wird nur durch die Gravitationskraft geschaffen. Infolge des Erreichens der oberen Innenwand 33 werden deshalb die Kugeln mit dem großen Durchmesser 21a angehoben, so daß die Kugeln mit großem und kleinem Durchmes-

ser 21a und 21b in einer gestapelten Anordnung in einem engeren Winkelbereich des Inneren des Ausgleichsvorrichtungskörpers 20 gesammelt werden. Im speziellen ist das Gesamtgewicht der Kugeln mit dem großen und dem kleinen Durchmesser 21a und 21b in dem engeren Winkelbereich gegenüber zu der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 konzentriert, um die unausgeglichene Masse des Rotors 8 auszugleichen, woraus eine große Reduzierung der Oszillation des Rotors 8 resultiert.

Fig. 17 zeigt das sechste Ausführungsbeispiel der Kugelausgleichsvorrichtung 200 der Erfindung.

Die Kugeln 21 haben denselben Durchmesser. Der Ausgleichsvorrichtungskörper 20 umfaßt den zylindrischen Abschnitt 42, der obere und untere Innenwände 33 und 35 besitzt. Die obere Innenwand 33 erstreckt sich parallel zu einer Drehachse der Kugelausgleichsvorrichtung 200 (das heißt der Welle 11 in Fig. 1), das heißt, sie hat denselben Durchmesser entlang ihrer gesamten Höhe. Die untere Innenwand 35 hat eine flache Oberfläche, die in einem Winkel relativ zur Drehachse der Kugelausgleichsvorrichtung 200 geneigt ist, um an ihrem unteren Ende den kleinsten Durchmesser zu haben, an dem sie den ringförmigen Boden 24 fortführt. Die untere Innenwand 35 verbindet die obere Innenwand 33 durch eine Stufe oder einen Schulterabschnitt. Der Schulterabschnitt erstreckt sich entlang des gesamten Innenumfangs des zylindrischen Abschnitts 42 und steht in einer Breitenrichtung von einem unteren Ende der oberen Innenwand 33 zu einem oberen Ende der unteren Innenwand 35 nach innen vor. Der Schulterabschnitt hat, wie klar in der Zeichnung gezeigt ist, eine Vielzahl an Vorsprüngen 36a und Ausnehmungen 36b, die abwechselnd über den gesamten Innenumfang des zylindrischen Abschnitts 42 ausgebildet sind. Die Längen der Vorsprünge 36a und der Ausnehmungen 36b in einer Umfangsrichtung des Schulterabschnitts 37 unterscheiden sich von dem Durchmesser der Kugeln 21. Wenn die Rotordrehzahl beispielsweise die Drehzahl  $n_2$  in Fig. 7 übersteigt, wodurch bewirkt wird, daß die Kugeln 21 weg von dem ringförmigen Boden 24 angehoben werden, laufen die Kugeln 21 auf dem Schulterabschnitt zwischen den oberen und unteren Innenwänden 33 und 35, so daß einige der Kugeln 21 auf den Vorsprüngen 36a durch die nach oben gerichteten Komponenten  $F_u$  der Reaktionskräfte, die von jeder der angrenzenden Kugeln 21 auf die Ausnehmung 36b ausgeübt werden, nach oben gedrängt werden. Dies bewirkt, daß die Kugeln 21a in einer gestapelten Art angeordnet werden und an der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 gesammelt werden.

Fig. 18 zeigt das siebte Ausführungsbeispiel der Kugelausgleichsvorrichtung 200, die eine Abwandlung der einen ist, die in Fig. 17 gezeigt ist, und sich davon nur dadurch unterscheidet, daß ein Schulterabschnitt 37, der eine flache obere Oberfläche hat, zwischen den oberen und unteren Innenwänden 33 und 35 ausgebildet ist. Andere Anordnungen sind identisch und deren detaillierte Erläuterung wird hier weggelassen.

In diesem Ausführungsbeispiel werden die Kugeln 21 infolge des Aufsteigens zum Schulterabschnitt 37 aufgrund eines Unterschieds in der Rollreibung davon nach oben und nach unten verschoben und auf der gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse des Rotors 8 in einer gestapelten Anordnung gesammelt.

Fig. 19 zeigt das achte Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei irgendeine der Kugelausgleichsvorrichtungen 200 der obigen Ausführungsbeispiele mit der gezeigten Zentrifuge 100 verwendet wird.

Ein viskoelastisches Bauteil 40, wie ein Gummi, der eine Feder/Dämpfungsfunktion hat, ist zwischen dem Trager 4 und der Basis 2 angeordnet. Die Kugelausgleichsvor-

lung **200** umfaßt einen Ausgleichsvorrichtungskörper **42**, in dem die Kugeln **21** angeordnet sind. Der Ausgleichsvorrichtungskörper **42** ist mit einer Drehwelle **41** verbunden, die eine relativ höhere Steifigkeit hat und mit dem Motor verbunden ist. Der Ausgleichsvorrichtungskörper **42** wird durch eine Ausgleichsabdeckung **46** abgedeckt. Flaschen **45**, in die Mischungen, die getrennt werden sollen, hineingegeben werden, sind in einem Winkelrotor **43** angeordnet. Der Winkelrotor **43** ist mit einer konstanten Winkel zur Rotorwelle **41** mitumfaßt und auf der Rotorwelle **41** durch eine Mutter **44** befestigt. Die Kugelausgleichsvorrichtung **200** ist, wie deutlich in der Zeichnung gezeigt ist, unterhalb des Winkelrotors **43** angeordnet, was es einem Bedienungspersonal der Zentrifuge **100** gestattet, den Winkelrotor **43** ohne Entfernen der Kugelausgleichsvorrichtung **200** auszutauschen.

Die Kugelausgleichsvorrichtung **200** kann von jedem Typ der obigen Ausführungsbeispiele sein. Dieses Ausführungsbeispiel bietet dieselben Effekte wie diejenigen der obigen Ausführungsbeispiele.

Fig. 20 zeigt das neunte Ausführungsbeispiel der Zentrifuge **100** der Erfindung, das eine Abwandlung des achten Ausführungsbeispieles aus Fig. 19 ist.

Eine Rotorwelle **47** ist dünner als die Rotorwelle **41** in Fig. 19 und hat eine niedrigere Steifigkeit. Ein Kranz **48** ist auf einem oberen Ende der Rotorwelle **47** installiert. Ein Winkelrotor **49** ist drehbar durch den Kranz **48** gelagert und hat darin Kammer mit Öffnungen zum Hineinlegen und Herausnehmen der Flaschen **45** ausgebildet. Eine Rotorabdeckung **50** ist auf dem Winkelrotor **49** montiert, um die Öffnungen der Kammer zu verschließen. Die Rotorabdeckung **50** hat eine ringförmige Kammer **70** darin ausgebildet, koaxial zu einer Drehachse des Winkelrotors **49**. Die ringförmige Kammer **70** wird durch eine Abdeckung **52** unter Verwendung einer Schraube **51** verschlossen und hat dann Kugeln **21** zur Bildung einer Kugelausgleichsvorrichtung **200**. Die ringförmige Kammer **70** kann alternativ direkt in dem Winkelrotor **49** oberhalb des Kranzes **48** ausgebildet sein. Dies liegt darin, daß für den Fall, wo die Steifigkeit der Rotorwelle **47** gering ist, die Schwingung des Rotors **49** während einer Drehung mit hoher Drehzahl durch eine unausgeglichene Masse eines Rotationssystems, bestehend aus einem Abschnitt des Rotors **49** oberhalb des Kranzes **48**, Mischungen, die in die Flaschen **45** gegeben wurden, die Flaschen **45** und der Rotorabdeckung **52**, hervorgerufen wird.

Die Kugelausgleichsvorrichtung **200** und der Rotor **49** können von jeglichem Typ der obigen Ausführungsbeispiele sein.

Während die vorliegende Erfindung anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele offenbart wurde, um ein besseres Verständnis zu erleichtern, soll klargestellt sein, daß die Erfindung in verschiedener Arten verkörpert werden kann, ohne das Erfindungsprinzip zu verlassen. Deshalb sollte die Erfindung so verstanden sein, daß sie alle möglichen Ausführungsbeispiele und Abwandlungen zu den gezeigten Ausführungsbeispielen umfaßt, die möglich sind, ohne den Erfindungsgedanken zu verlassen, wie er in den beigefügten Ansprüchen festgelegt wird.

Eine Kugelausgleichsvorrichtung **200** zur Minimierung eines dynamischen Ungleichgewichts eines sich bewegenden Teils einer rotierenden Maschine wie einer Zentrifuge **100** ist vorgesehen. Die Kugelausgleichsvorrichtung **200** umfaßt ein Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse **20**, in dem Kugeln **21** angeordnet sind. Das Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse **20** ist auf dem sich bewegenden Teil koaxial zu einer Drehachse davon montiert und hat darin eine innere Seitenwand **65** ausgebildet, die so gekrümmt ist, daß die Ka-

gen **21** durch die Zentrifugalkraft weg von dem Boden des Ausgleichsvorrichtungsgehäuses **20** entlang der inneren Seitenwand **65** angehoben werden und zur gegenüberliegenden Seite einer unausgebalancierten Masse **15** des sich bewegenden Teils hin gedrängt werden, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils eine Resonanzdrehzahl übersteigt, das heißt eine Drehzahl des sich bewegenden Teils, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz des sich bewegenden Teils übereinstimmt, wodurch die unausgeglichene Masse **15** des sich bewegenden Teils ausgeglichen wird. In einer alternativen Form umfassen die Kugeln **21** eine erste Gruppe mit großem Durchmesser **21a** und eine zweite Gruppe mit einem kleinen Durchmesser **21b**. Die Kugeln mit dem großen Durchmesser **21a** und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser **21b** sind abwechselnd angeordnet. Jede der Kugeln mit dem großen Durchmesser **21a** wird durch die Reaktionskraft, die durch ein Verschieben der Mitte zwischen einer der Kugeln mit dem großen Durchmesser **21a** und einer benachbarten der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser **21b**, die auf dem Boden des Ausgleichsvorrichtungsgehäuses **20** angeordnet sind und zur gegenüberliegenden Seite der unausgebalancierten Masse **15** des sich bewegenden Teils hin gedrängt werden, hervorgerufen wird, auf die benachbarte der Kugeln mit dem kleinen Durchmesser **21b** gehoben, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils die Resonanzdrehzahl übersteigt.

#### Patentansprüche

1. Kugelausgleichsvorrichtung (**200**) zur Steuerung eines dynamischen Ausgleichs eines sich bewegenden Teils einer rotierenden Maschine, die die folgenden Bauteile aufweist:

ein Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (**20**), das auf einer Drehachse koaxial zu einer Drehachse des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine montiert ist, wobei das Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (**20**) eine zylindrische innere Seitenwand (**65**) und einen Boden (**24**) umfaßt, und eine ringförmige Laufbahn besitzt, die auf dem Boden entlang eines Umfangs der zylindrischen inneren Seitenwand (**65**) ausgebildet ist; Kugeln (**21**), die auf der ringförmigen Laufbahn des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (**20**) über einen ersten Winkelbereich angeordnet sind; und eine Vorrichtung zum Halten der Kugeln, die auf der ringförmigen Laufbahn über den ersten Winkelbereich angeordnet sind, in einem niedrigen Drehzahlbereich des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine, der niedriger als oder gleich zu einer Resonanzdrehzahl ist, das heißt einer Drehzahl des sich bewegenden Teils, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz eines Rotationssystems, umfassend die Kugelausgleichsvorrichtung und das sich bewegende Teil, übereinstimmt, und die bewirkt, daß eine Schwingung des Rotationssystems ansteigt, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils aus dem Bereich der unteren Drehzahl heraus ansteigt, wobei die Vorrichtung die Kugeln zu der gegenüberliegenden Seite einer unausgebalancierten Masse (**15**) des sich bewegenden Teils drängt, die eine Schwingung des sich bewegenden Teils initiiert, innerhalb eines zweiten Winkelbereichs, der kleiner als der erste Winkelbereich ist.

2. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Winkelbereich im wesentlichen die gesamte Länge der ringförmigen Laufbahn belegt.

3. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrische innere Sei-

tenwand (65) einen oberen Abschnitt (31) und einen unteren Abschnitt (32) umfaßt, die die Vorrichtung bilden, wobei der untere Abschnitt (32) so von dem Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (20) mit einem gegebenen Krümmungsradius nach außen gekrümmt ist, daß ein Intervall zwischen der Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) und einer inneren Oberfläche des unteren Abschnitts (32) in einer Richtung senkrecht zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) zu dem oberen Abschnitt (31) hin zunimmt, und daß ein Winkel zwischen einer Tangente, die durch einen Punkt auf der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts (32), mit dem jede der Kugeln (21) in Kontakt ist, geht, und einer vertikalen Linie, es den Kugeln (21) gestattet, von der ringförmigen Laufbahn entlang der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts (32) durch eine Zentrifugalkraft nach oben weg abgehoben zu werden, die erzeugt wird, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine die Resonanzdrehzahl übersteigt.

4. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der obere Abschnitt (31) der zylindrischen inneren Seitenwand (65) mit demselben Krümmungsradius gekrümmt ist, wie jener des unteren Abschnitts (32), und daß ein Intervall zwischen der Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) und einer inneren Oberfläche des oberen Abschnitts (31) in einer Richtung senkrecht zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) beim Verlassen des unteren Abschnitts (32) abnimmt.

5. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der obere Abschnitt (31) der zylindrischen inneren Seitenwand (65) mit einem Krümmungsradius gekrümmt ist, der größer als derjenige des unteren Abschnitts (32) ist.

6. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der obere Abschnitt der zylindrischen inneren Seitenwand (65) eine flache innere Oberfläche hat, die sich parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) erstreckt.

7. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrische innere Seitenwand einen oberen Abschnitt, einen unteren Abschnitt und einen gestuften Abschnitt umfaßt, die die Vorrichtung bilden, wobei der obere Abschnitt eine innere Oberfläche hat, die sich parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) erstreckt, der untere Abschnitt eine innere Oberfläche hat, die in einem gegebenen Winkel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) geneigt ist, um es den Kugeln (21) zu gestatten, weg von der ringförmigen Laufbahn entlang der inneren Oberfläche des unteren Abschnitts durch eine Zentrifugalkraft angehoben zu werden, die erzeugt wird, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils der rotierenden Maschine die Resonanzdrehzahl übersteigt, wobei sich der gestufte Abschnitt zwischen einem unteren Umfang des oberen Abschnitts und einem oberen Umfang des unteren Abschnitts erstreckt und in einer Breitenrichtung davon von einem unteren Ende des oberen Abschnitts zu einem oberen Ende des unteren Abschnitts nach innen vorsteht.

8. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der gestufte Abschnitt Vorsprünge und Ausnehmungen darauf ausgebildet hat, die abwechselnd in einer Längsrichtung davon angeordnet sind.

9. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 3, da-

durch gekennzeichnet, daß die Kugeln eine erste Gruppe von Kugeln mit großem Durchmesser (21a) und eine zweite Gruppe von Kugeln mit kleinen Durchmesser (21b) umfassen.

10. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser (21b) abwechselnd angeordnet sind.

11. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kugeln (21) eine erste Gruppe an Kugeln mit einem großen Durchmesser (21a) und eine zweite Gruppe an Kugeln mit kleinen Durchmesser (21b) umfassen, wobei ein Unterschied des Durchmessers zwischen den Kugeln mit dem großen Durchmesser und den Kugeln mit dem kleinen Durchmesser die Vorrichtung bildet.

12. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser (21b) abwechselnd angeordnet sind.

13. Kugelausgleichsvorrichtung gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß sich die zylindrische innere Seitenwand des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) vertikal parallel zur Drehachse des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) erstreckt, und daß ein innerer Durchmesser der zylindrischen inneren Seitenwand und der Unterschied des Durchmessers zwischen den Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) und den Kugeln mit dem kleinen Durchmesser (21b) so bestimmt ist, daß die Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) durch eine Zentrifugalkraft weg von der ringförmigen Laufbahn angehoben werden, die auf die Kugeln mit dem großen Durchmesser (21a) und die Kugeln mit dem kleinen Durchmesser (21b) wirkt, wenn die Drehzahl des sich bewegenden Teils aus dem Bereich der unteren Drehzahl heraus ansteigt.

14. Eine Zentrifuge (100), die die folgenden Bauteile aufweist:

(a) ein Drehbauteil; und

(b) eine Kugelausgleichsvorrichtung (200) zur Steuerung eines dynamischen Gleichgewichts des Drehbauteils, wobei die Kugelausgleichsvorrichtung folgendes umfaßt:

(1) ein Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (20), das auf einer Drehachse, die coaxial zur Drehachse des Drehbauteils ist, montiert ist, wobei das Drehausgleichsvorrichtungsgehäuse (20) eine zylindrische innere Seitenwand (65) und einen Boden (24) umfaßt und eine ringförmige Laufbahn hat, die auf dem Boden entlang eines Umfangs der zylindrischen inneren Seitenwand (65) ausgebildet ist.

(2) Kugeln (21), die auf der ringförmigen Laufbahn des Drehausgleichsvorrichtungsgehäuses (20) über einen ersten Winkelbereich angeordnet sind, und

(3) eine Vorrichtung zum Halten der Kugeln (21), die auf der ringförmigen Laufbahn über dem ersten Winkelbereich angeordnet sind, innerhalb eines niedrigeren Drehzahlbereichs des Drehbauteils, der niedriger als oder gleich einer Resonanzdrehzahl ist, das heißt einer Drehzahl des Drehbauteils, wenn sie mit einer natürlichen Frequenz eines Rotationssystems übereinstimmt, das die Kugelausgleichsvorrichtung (200) und das Drehbauteil umfaßt, und die bewirkt, daß die Schwingung des Rotationssystems ansteigt, wenn die Drehzahl des Drehbauteils aus dem unteren Dreh-

zahlbereich heraus ansteigt, wobei die Vorrichtung die Kugeln (21) zur gegenüberliegenden Seite einer unausgeglichene Masse (15) des Drehbauteils drängt, die eine Schwingung des Drehbauteils initiiert, in einen zweiten Winkelbereich, der kleiner als der erste Winkelbereich ist.

15. Eine Zentrifuge (100) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Drehbauteil einen Rotor (8) umfaßt, der durch eine Welle (7) drehbar gelagert ist, des weiteren einen Motor (3), der den Rotor (8) durch die Welle (7) dreht; und daß die Kugelausgleichsvorrichtung (200) auf der Welle (7) zwischen dem Rotor (8) und dem Motor (3) montiert ist.

16. Eine Zentrifuge (100) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Drehbauteil einen Rotor (8) umfaßt, der durch eine Welle (7) drehbar gelagert ist, wobei der Rotor (8) einen Rotorkörper und eine Abdeckung (13) umfaßt, der Rotorkörper eine Vielzahl an Kammern (70) mit Öffnungen darin ausgebildet hat zum Hineingeben und Herausnehmen von Mischungen, die getrennt werden sollen, die Abdeckung (13) auf dem Rotorkörper angeordnet ist, um die Öffnungen zu verschließen, des weiteren aufweisend einen Motor (3), der den Rotor (8) durch die Welle (7) dreht, und daß die Kugelausgleichsvorrichtung (200) in der Abdeckung des Rotors (8) montiert ist.

---

Hierzu 9 Seiten(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1

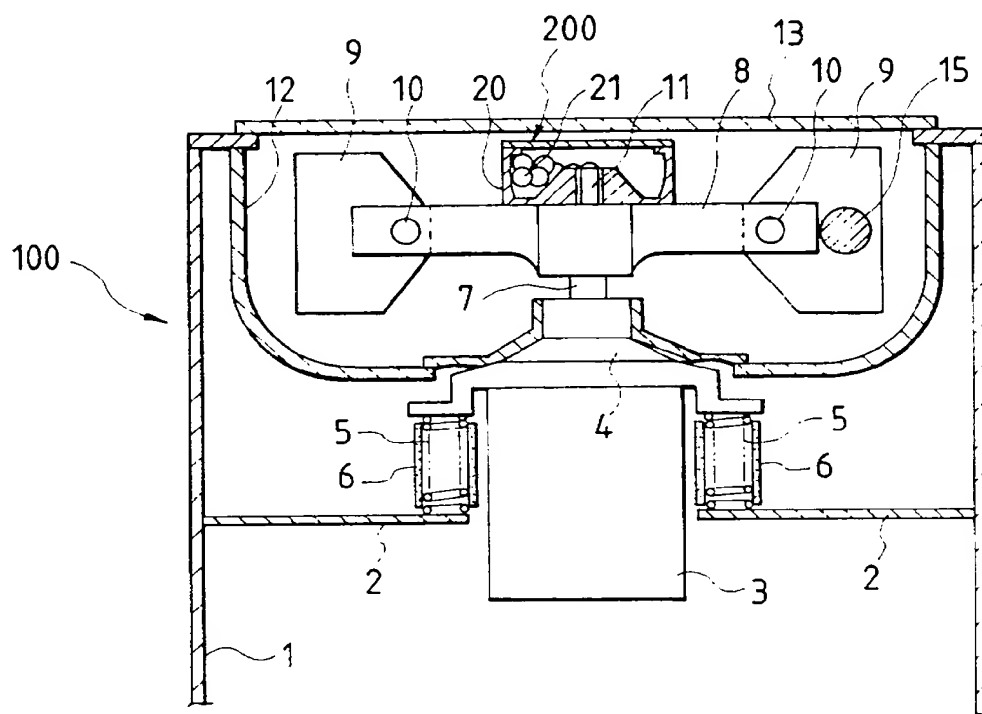
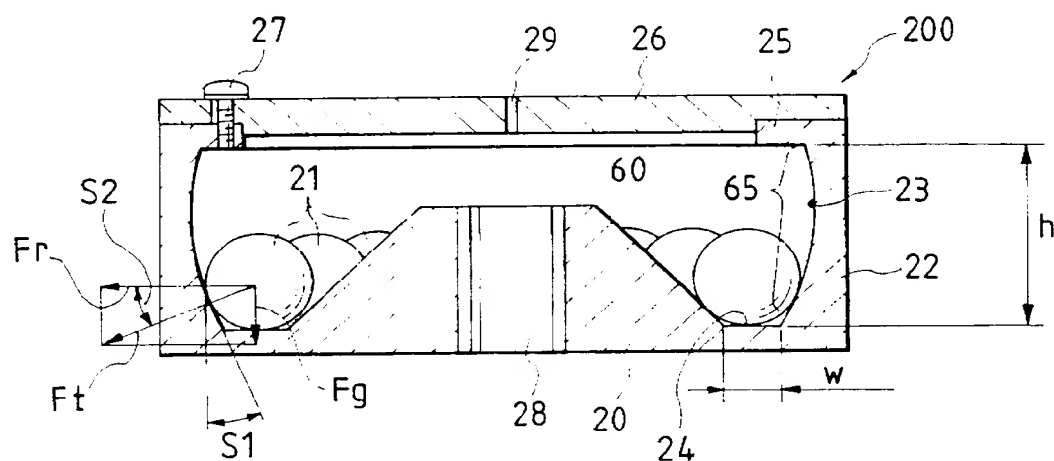


FIG. 2



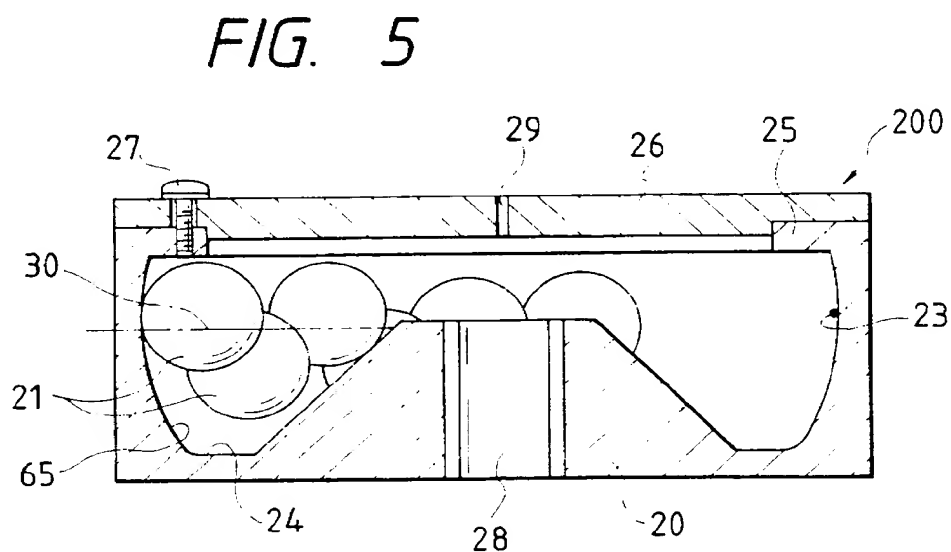
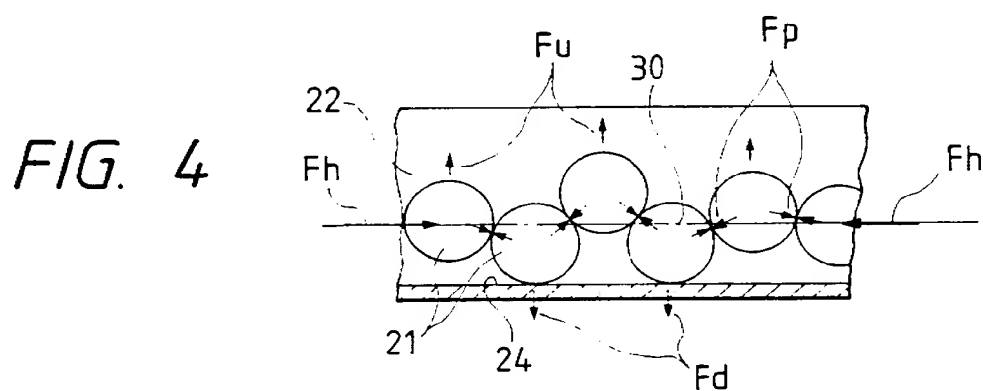
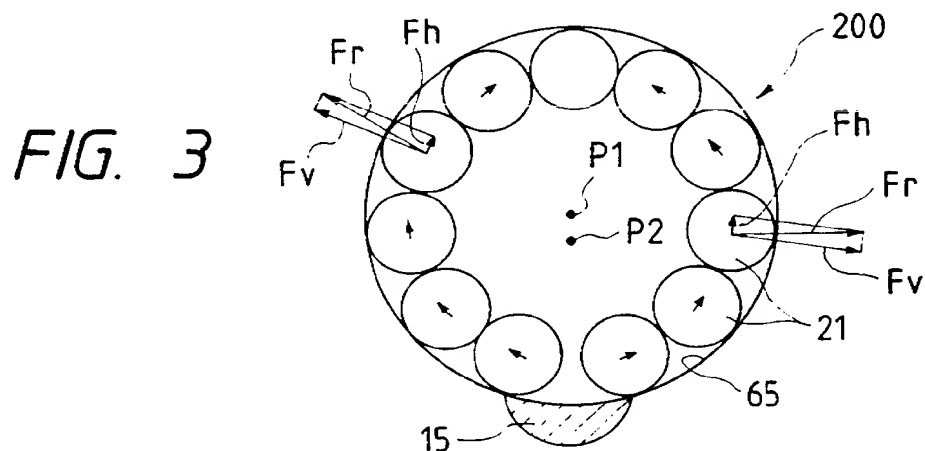




FIG. 6

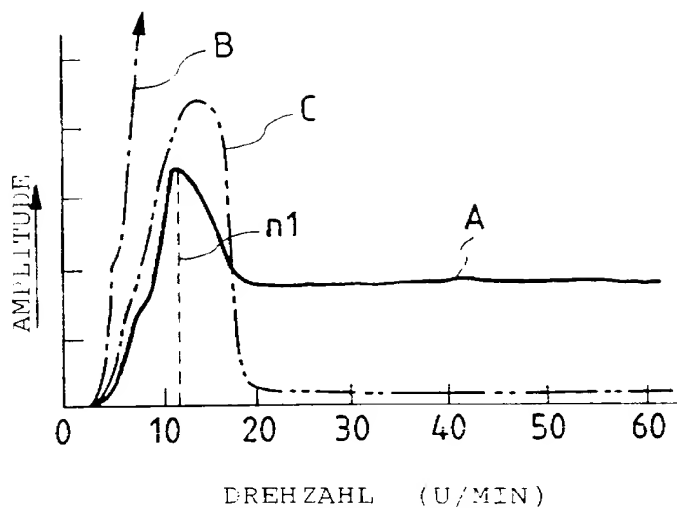


FIG. 7

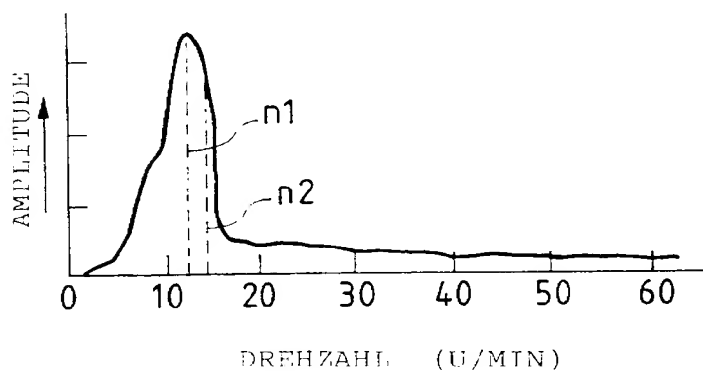


FIG. 8

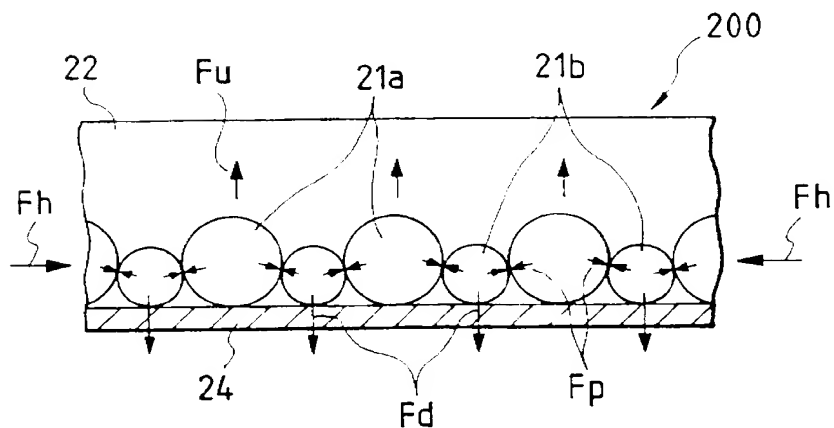


FIG. 9

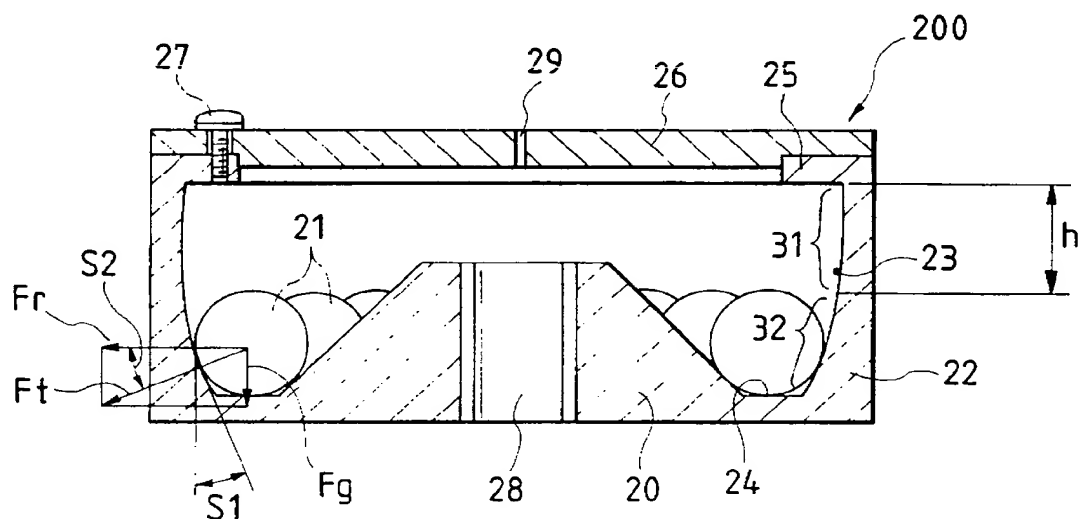


FIG. 10

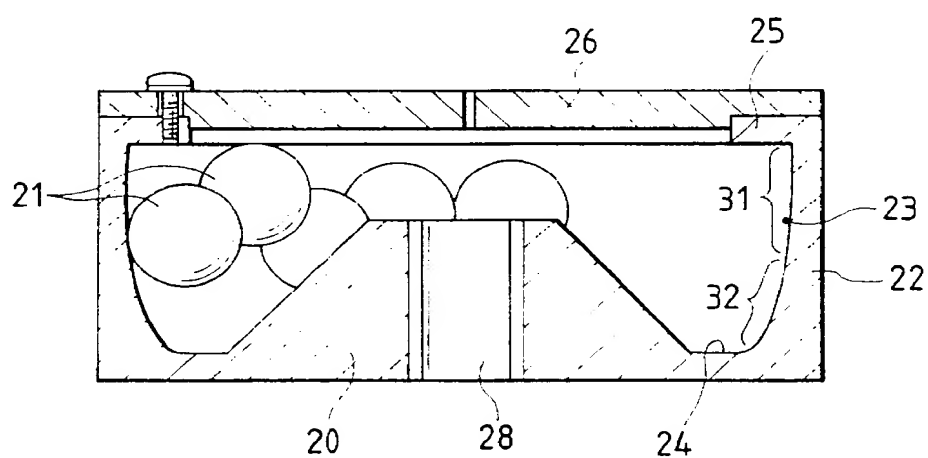


FIG. 11

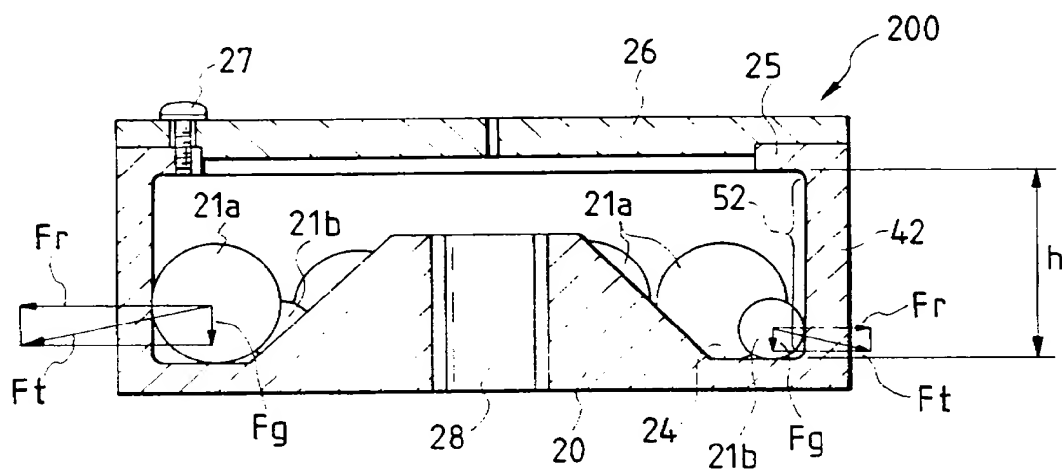


FIG. 12

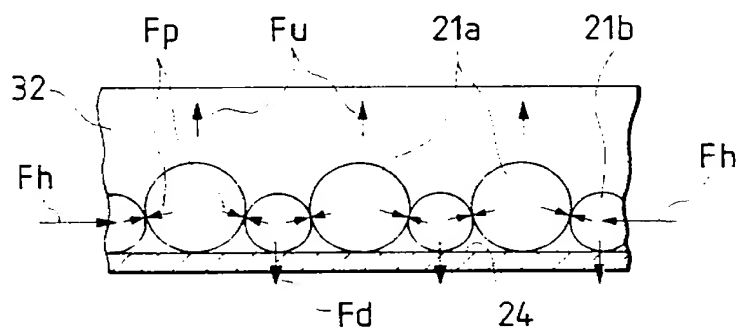


FIG. 13

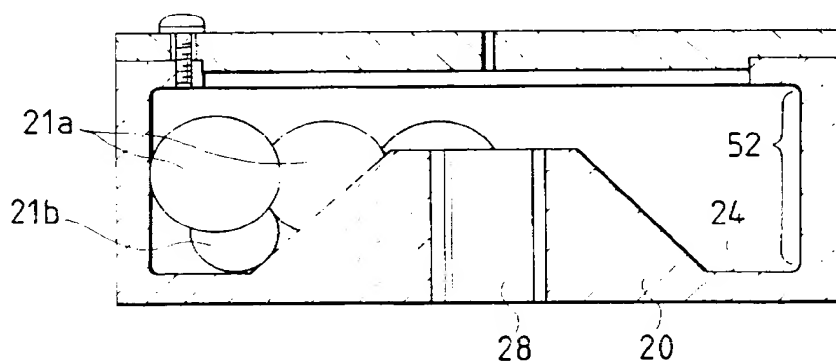


FIG. 14

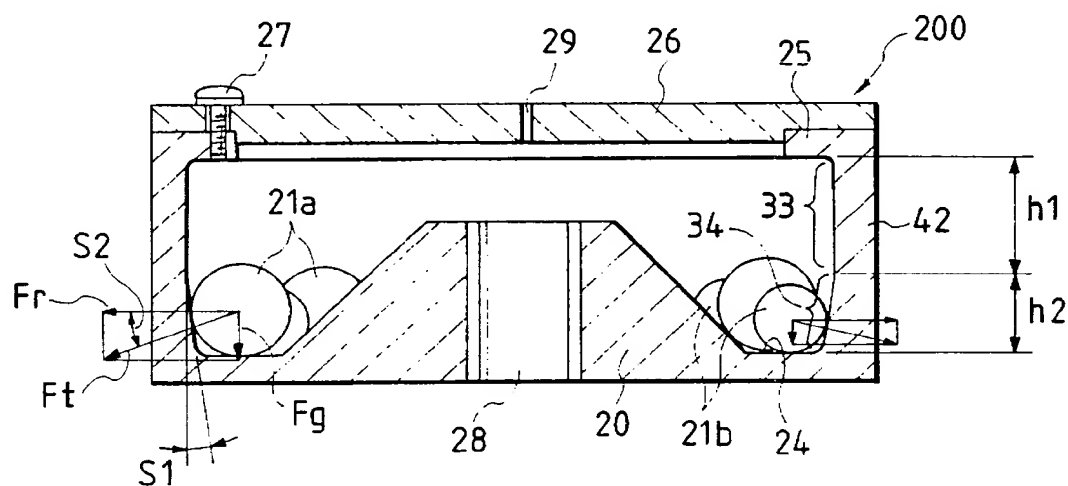


FIG. 15

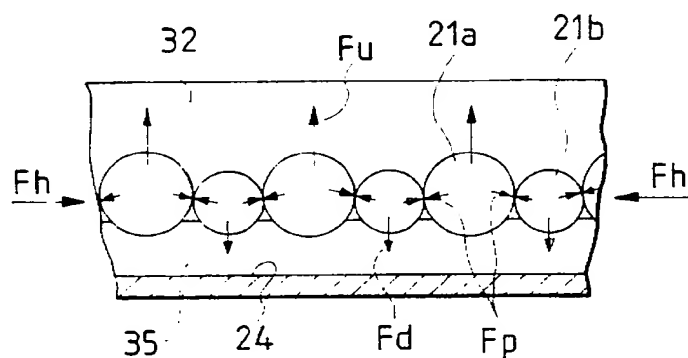


FIG. 16

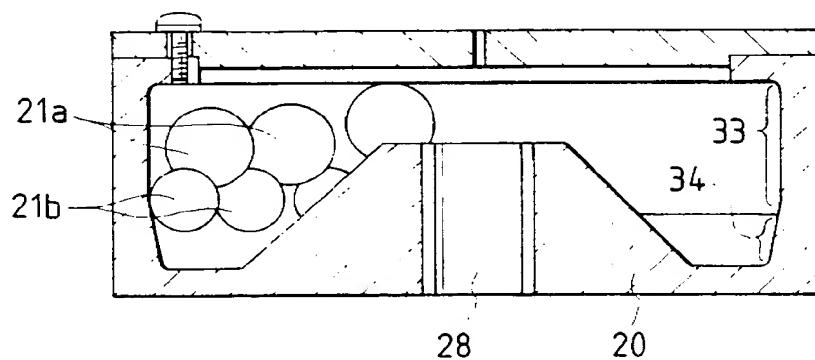


FIG. 17

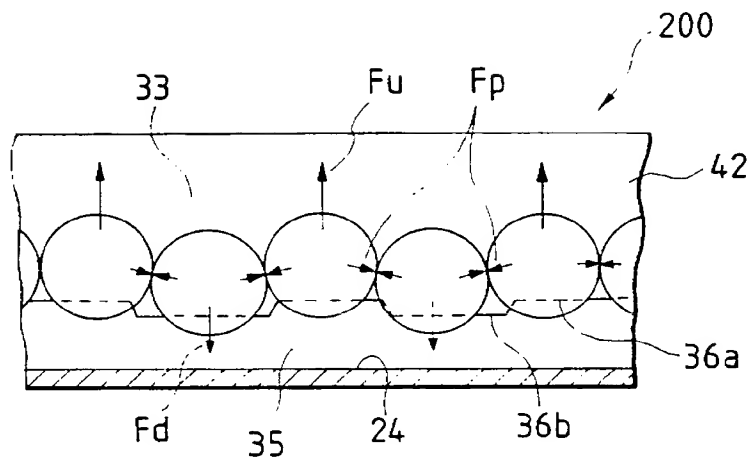


FIG. 18

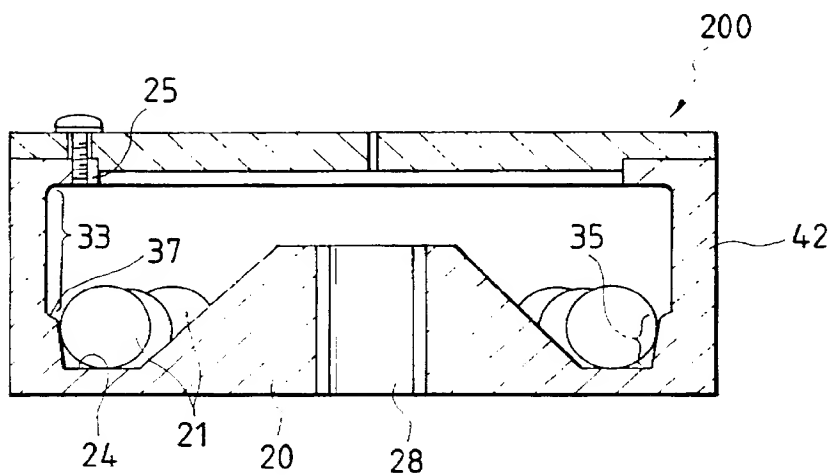


FIG. 19

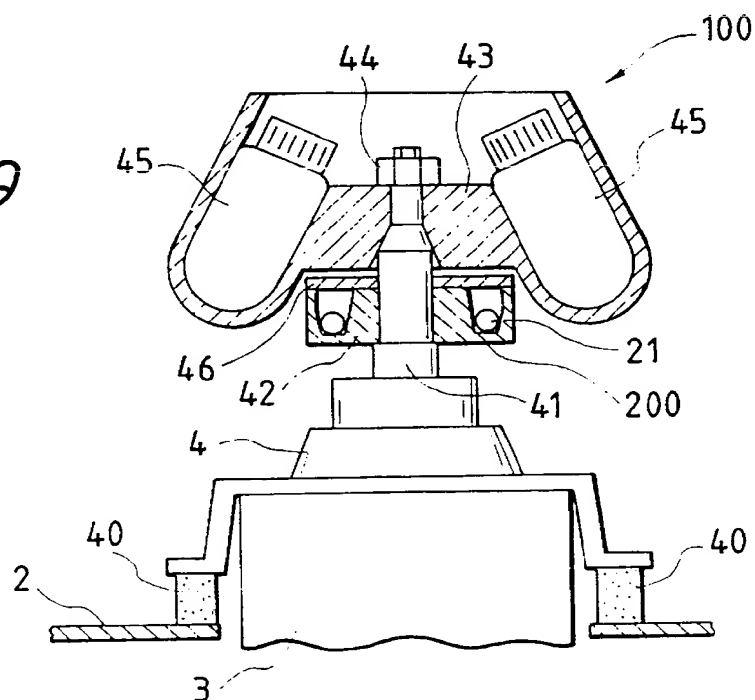
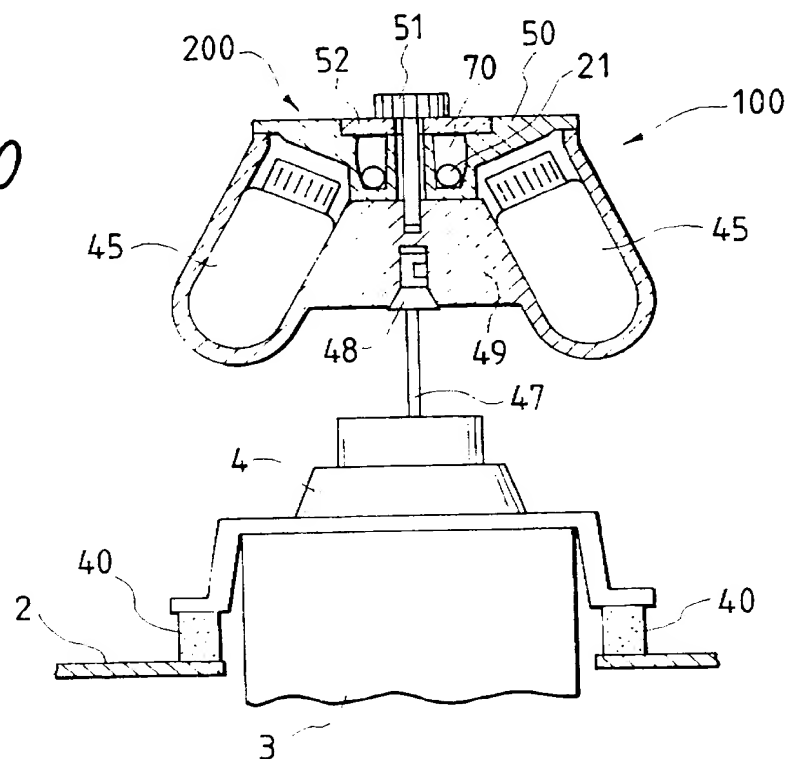
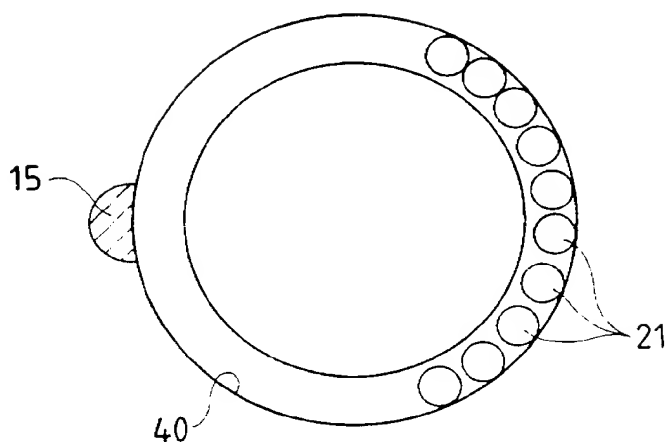


FIG. 20



*FIG. 21*      STAND DER TECHNIK



*FIG. 22*      STAND DER TECHNIK

